PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 8. 15. April 1918. Redaktionsschluß für No. 10 am 17. April 1918. 19. Jahrgang.

INHALT:

Originalmitteilungen:

R. Malmström, Versuch zur Erweiterung des Riemannschen Elementargesetzes. S. 153.

J. Lense u. H. Thirring, Über den Einfluß der Eigenrotation der Zentralkörper auf die Bewegung der Planeten und Monde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie. S. 156.

H. Bauer, Über die Energiekomponenenten des Gravitationsfeldes. S. 163.

A. Einstein, Bemerkung zu Herrn Schrödingers Notiz „Über ein Lösungssystem der allgemein kovarianten Gravitationsgleichungen". S. 165.

L. Flamm, Bemerkungen zu den statistischen Grundlagen der Quantentheorie. S. 166.

Vorlesungsverzeichnis f. das Sommersemester 1918. S. 168.

Tagesereignisse. S. 176.

Personalien. S. 176.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Versuch zur Erweiterung des Riemannschen Elementargesetzes [1].

Von R. Malmström.

In der vorliegenden Mitteilung soll ein Versuch beschrieben werden, das von B. Riemann aufgestellte Elementargesetz so zu erweitern, daß es, mit Beibehaltung der Relativgeschwindigkeit, auf die Versuche von Kaufmann und Bucherer angewandt, dasselbe Resultat gibt, wie die Theorie von Lorentz [2].

Um diese Erweiterung vorzunehmen, könnte man, wie schon in dem zuletzt zitierten Aufsatze [2] auseinandergesetzt wurde, entweder unter Beibehaltung des Hamiltonschen Prinzipes, den Ausdruck $\left(1 + \frac{u^2}{2c^2}\right)$, wo u die Relativgeschwindigkeit zweier Elektronen, durch eine andere Funktion von $\frac{u^2}{2c^2}$ ersetzen, oder, mit Aufgabe des Hamiltonschen Prinzipes in dem durch Ausführung der Differentiationen erhaltenen Ausdruck, die einzelnen Glieder, in Analogie mit dem von W. Ritz in seiner Theorie angewandten Verfahren, mit Funktionen der Relativgeschwindigkeit multiplizieren.

Bei dem ersten Verfahren entstehen Komplikationen, die davon herrühren, daß bei der Differentiation nach der Zeit Glieder erhalten werden, welche, wenn es sich um die Bewegung eines Elektrons in elektrischen und magnetischen Feldern handelt, das Potential der ruhenden Elektrizität und die Komponenten des Vektorpotentiales der elektrischen Ströme enthalten, multipliziert mit den Geschwindigkeits- und Beschleunigungskomponenten des Elektrons und ihrer Produkte. Wir werden deshalb und auch aus anderen, später angeführten Gründen den zweiten Weg einschlagen und schreiben also für die X-Komponente der vom Elektron e auf das Elektron e' ausgeübten Kraft

$$e'F_x = \frac{ee'}{r^2}\cos(r,x)\,\varphi\left(\frac{u^2}{2c^2}\right) - \frac{ee'}{r^2}\,\psi\left(\frac{u^2}{2c^2}\right)\frac{(v_x'-v_x)\,(v_r'-v_r)}{c^2} - \frac{ee'}{r}\,\chi\left(\frac{u^2}{2c^2}\right)\frac{a_x}{c^2}, \quad (1)$$

wo v und v' die Geschwindigkeiten der Elektronen relativ zu einem Koordinatensystem, welches selbst eine beliebige, gleichförmige, geradlinige Translationsbewegung haben kann, a und a' ihre Beschleunigungen sind. Die Funktion φ muß in zweiter Annäherung $= 1 + \frac{u^2}{2c^2}$ sein, ψ und χ in erster Annäherung $= 1$. Schließlich ist noch in dem letzten Glied a_x' fortgelassen.

Für die Anwendung dieser Formel auf die Versuche mit β-Strahlen können wir die Funktionen φ, ψ und χ nach Potenzen von $\frac{v_x}{c}$, $\frac{v_y}{c}$, $\frac{v_z}{c}$ entwickeln und nur die Glieder erster Ordnung beibehalten, weil v die Geschwindigkeit der Leitungselektronen relativ zum Leiter ist. Wir erhalten so

$$\varphi = \varphi\left(\frac{\beta^2}{2}\right) - \varphi'\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{v_x'v_x + v_y'v_y + v_z'v_z}{c^2}$$
$$\psi = \psi\left(\frac{\beta^2}{2}\right) + \psi'\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{v_x'v_x + v_y'v_y + v_z'v_z}{c^2}, \quad (2)$$

wo $\frac{\beta^2}{2} = \frac{v'^2}{2c^2}$

und φ', ψ' die Ableitungen nach $\frac{\beta^2}{2}$ bzw. $\frac{u^2}{2c^2}$ bedeuten.

[1] Auszug aus einer in „Öfversigt af Finska Vetenskapssocietetens Förhandlingar", Bd. LX, 1917—1918, Afd. A, No. 6, erscheinenden Arbeit.

[2] Vgl. R. Malmström, Zur Theorie der Versuche über β-Strahlen, diese Zeitschr. 19, 43, 1918, wo dasselbe mit Einführung der Absolutgeschwindigkeit geschieht.

Führt man diese Werte in die Gl. (1) ein, läßt alle Glieder, die noch Potenzen und Produkte von v_x, v_y, v_z enthalten, fort und beachtet, daß bei den Versuchen mit β-Strahlen $a = 0$ ist, so erhält man

$$\begin{aligned} e' F_x = {} & \varphi\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e e'}{r^2}\cos(r, x) - \varphi'\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e' e}{r^2} \\ & \cos(r, x)\frac{v_x' v_x + v_y' v_y + v_z' v_z}{c^2} \\ & - \psi\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e e'}{r^2}\frac{v_x' v_r' - v_r' v_x - v_x' v_r}{c^2} \\ & + \psi'\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e e'}{r^2}\frac{v_x' v_r' (v_x' v_x + v_y' v_y + v_z' v_z)}{c^4} \end{aligned} \tag{3}$$

und entsprechende Formeln für F_y und F_z.

Da die Anwendung dieser Formeln auf die Versuche von Kaufmann und Bucherer dasselbe Resultat ergibt, wollen wir uns der Kürze halber mit den ersteren begnügen. Es werden hierbei parallele, homogene elektrische und magnetische Felder benutzt. Ein homogenes elektrisches Feld erhalten wir theoretisch, indem wir uns eine Ebene (YZ) mit positiver Ladung von konstanter Dichte ϱ belegt denken. Wir haben dann in den Gl. (3) $v = 0$ zu setzen, e durch $\varrho\, d_y d_z$ zu ersetzen und über die YZ-Ebene zu integrieren. Die Kraftkomponenten werden dann

$$\begin{aligned} e' F_x &= \varphi\left(\frac{\beta^2}{2}\right) e' E_x - \psi\left(\frac{\beta^2}{2}\right) e' E_x \frac{v_x'^2}{c^2} \\ e' F_y &= - \psi\left(\frac{\beta^2}{2}\right) e' E_x \frac{v_x' v_y'}{c^2} \\ e' F_z &= - \psi\left(\frac{\beta^2}{2}\right) e' E_x \frac{v_x' v_z'}{c^2}, \end{aligned} \tag{4}$$

wo E_x die elektrische Feldstärke.

Ein homogenes magnetisches Feld mit der Richtung der X-Achse wird theoretisch am einfachsten erhalten, indem man sich die XY-Ebene von Flächenströmen konstanter Dichte (i_y) und Richtung der Y-Achse durchflossen denkt. Die Kraftkomponenten erhält man aus den Gl. (3), indem man $v_x = v_z = 0$ setzt, $e v_y$ mit $i_y\, d x\, d y$ ersetzt und über die XY-Ebene integriert. Außerdem fallen noch die Glieder fort, wo e nicht mit einer Komponente von v multipliziert ist, weil die Ladung $= 0$ ist. Die Kraftkomponenten werden für diesen Fall

$$\begin{aligned} e' F_x &= \psi'\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e' v_x' v_y' v_z' 2\pi i_y}{c^4}, \\ e' F_y &= \varphi\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e' v_z' \cdot 2\pi i_y}{c^2} + \psi'\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e' v_y' v_y' v_z' 2\pi i_y}{c^4}, \\ e' F_z &= -\varphi\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e' v_y' \cdot 2\pi i_y}{c^2} + \psi'\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e' v_z' v_y' v_z' 2\pi i_y}{c^4}. \end{aligned} \tag{5}$$

Die Kraft hat eine in die Richtung von v' (das mit ψ' multiplizierte Glied) und eine senkrecht zum magnetischen Felde wirkende Komponente. Die letztere ist aber nicht einmal proportional dem Vektorprodukt von Geschwindigkeit und magnetischer Feldstärke, sondern verschieden in der Richtung des Stromfeldes und senkrecht dazu, was ja a priori auch möglich sein kann. Von einer speziellen Wirkung des magnetischen Feldes auf das Elektron kann man also in dem betrachteten Falle nicht reden. Nur wenn $\varphi' = \psi$ angenommen wird und die von ψ' abhängigen Glieder vernachlässigt werden können, wird die von diesem Stromsystem ausgeübte Kraft dem Vektorprodukt von Geschwindigkeit und magnetischer Feldstärke proportional sein. Wir wollen diesen Fall am Schluß mit einigen Worten berühren und jetzt untersuchen, ob es nicht möglich ist, auf dem Boden der vorliegenden Theorie ein homogenes magnetisches Feld herzustellen, welches die genannte Bedingung streng erfüllt. Das ist in der Tat der Fall. Denken wir uns noch die XZ-Ebene von Flächenströmen konstanter Dichte in der Richtung der negativen Z-Achse durchflossen, so hat das magnetische Feld die Richtung der positiven X-Achse. Um die Kraftkomponenten zu berechnen, hat man in den Gl. (3) jetzt $v_x = v_y = 0$ zu setzen, $e v_z$ mit $-i_z\, d x d z$ zu ersetzen und über die XZ-Ebene zu integrieren. Das Resultat wird

$$\begin{aligned} e' F_x &= -\psi'\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e' v_x' v_y' v_z' \cdot 2\pi i_z}{c^4}, \\ e' F_y &= \varphi'\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e' v_z' 2\pi i_z}{c^2} - \psi'\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e' v_y' v_y' v_z' 2\pi i_z}{c^4}, \\ e' F_z &= -\psi\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e' v_y' 2\pi i_z}{c^2} - \psi'\left(\frac{\beta^2}{2}\right)\frac{e' v_z' v_y' v_z' \cdot 2\pi i_z}{c^4}. \end{aligned} \tag{6}$$

Wirken beide Felder zusammen und sind die Stromdichten gleich $i_y = i_z = i$, so werden die Kraftkomponenten

$$e' F_x = 0,$$
$$e' F_y = -(\varphi' + \psi)\frac{e' v_z' 2\pi i}{c^2} = \frac{\varphi' + \psi}{2}\frac{e' v_z' \cdot 2 \cdot 2\pi i}{c^2},$$
$$e' F_z = -(\varphi' + \psi)\frac{e' v_y' 2\pi i}{c^2} = -\frac{\varphi' + \psi}{2}\frac{e' v_y' 2 \cdot 2\pi i}{c^2}.$$

In diesen Formeln ist $2 \cdot 2\pi i$ gleich der gesamten magnetischen Feldstärke. Werden elektromagnetische Einheiten eingeführt und die magnetische Feldstärke mit H_x bezeichnet, ergibt sich

$$\begin{aligned} e' F_x &= 0, \\ e' F_y &= \frac{\varphi' + \psi}{2} e' v_z' H_x, \\ e' F_z &= -\frac{\varphi' + \psi}{2} e' v_y' H_x. \end{aligned} \tag{7}$$

Wenn wir hier noch $\frac{\varphi' + \psi}{2} = 1$ setzen würden, so würden die Formeln für das Elektron ganz dieselbe Bewegung in diesem Felde ergeben, wie die ursprüngliche Lorentzsche Theorie. Zunächst wollen wir aber die Formeln in dieser Gestalt behalten und sie auf die Versuche von Kaufmann anwenden.

Ein Stromsystem, wie das eben angewendete, ist zwar nicht praktisch ausführbar. Man findet aber durch eine einfache, nur etwas umständliche Rechnung, die deshalb hier nicht angeführt werden soll, daß dieselben Formeln ganz streng gelten für die Bewegung eines Elektrons in einer unendlich langen, stromdurchflossenen Spule mit kreisförmigem Querschnitt, und infolgedessen mit großer Annäherung auch für eine im Verhältnis zum Durchmesser lange Spule. Es ist somit die Anwendung dieser Formeln auf die Versuche mit β-Strahlen nicht unberechtigt.

Für die Versuche von Kaufmann erhalten wir die Formeln durch Kombination der Gl. (4) und (7) und wählen zur Bewegungsrichtung der Elektronen die Z-Achse. Nehmen wir die Ablenkungen und Ablenkungsgeschwindigkeiten als klein an, so sind in den Formeln (4) die Glieder mit Produkten und Potenzen von v_x' und v_y' zu vernachlässigen. Wird noch $v_z' = v' =$ konstant angenommen, so lauten die Gleichungen zur Bestimmung der Ablenkungen

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = \varphi\left(\frac{\beta^2}{2}\right) e' E_x,$$
$$m\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{\varphi' + \psi}{2} e' \beta c H_x,$$

oder

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dz^2} &= \frac{e'}{m}\frac{E_x}{c^2}\frac{\varphi\left(\frac{\beta^2}{2}\right)}{\beta^2}, \\ \frac{d^2y}{dz^2} &= \frac{e'}{m}\frac{H_x}{c}\frac{\varphi' + \psi}{2\beta}. \end{aligned} \tag{8}$$

Nach der Theorie von Lorentz lauten die entsprechenden Gleichungen, wenn wir für diesen Fall $\frac{v'}{c}$ mit α bezeichnen,

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dz^2} &= \frac{e'}{m}\frac{E_x}{c^2}\frac{\sqrt{1-\alpha^2}}{\alpha^2}, \\ \frac{d^2y}{dz^2} &= \frac{e'}{m}\frac{H_x}{c}\frac{\sqrt{1-\alpha^2}}{\alpha}. \end{aligned} \tag{9}$$

Die Funktionen φ und ψ können jetzt so bestimmt werden, daß die vorliegende Theorie dasselbe Resultat ergibt wie die von Lorentz, indem man die rechten Seiten der Gl. (8) und (9) gleich setzt

$$\begin{aligned} \frac{\varphi}{\beta^2} &= \frac{\sqrt{1-\alpha^2}}{\alpha^2}, \\ \frac{\varphi' + \psi}{2\beta} &= \frac{\sqrt{1-\alpha^2}}{\alpha}, \end{aligned} \tag{10}$$

und zwischen diesen Gleichungen α eliminiert. Das Resultat wird

$$\left(\frac{\varphi' + \psi}{2}\right)^4 + \beta^2\left(\frac{\varphi' + \psi}{2}\right)^2 = \varphi^2. \tag{11}$$

Die einfachste Annahme, die wir jetzt über die Funktionen φ und ψ machen können, ist

$$\frac{\varphi' + \psi}{2} = 1, \tag{12}$$

wobei aber die Bewegung eines Elektrons im Inneren einer unendlich langen stromdurchflossenen Spule mit kreisförmigem Querschnitt ganz nach denselben Gesetzen erfolgt, wie nach der ursprünglichen Lorentzschen Theorie (konst. Masse).

Aus der Gl. (11) folgt dann

$$\varphi = \sqrt{1+\beta^2}. \tag{13}$$

φ ist also für kleine Geschwindigkeiten $= 1 + \frac{\beta^2}{2}$. Es wird ferner

$$\beta = \frac{\alpha}{\sqrt{1-\alpha^2}}, \quad \alpha = \frac{\beta}{\sqrt{1+\beta^2}}.$$

Es entsprechen sich also die Werte $\alpha = 1$ und $\beta = \infty$.

Der gefundene Wert von φ ist also derselbe wie derjenige in einer früheren Arbeit[1]) mit dem Unterschied, daß jetzt nur die Relativgeschwindigkeit in den Gleichungen vorkommt, und es gelten auch alle dort über die Versuche von Bucherer angestellten Betrachtungen.

Zum Schluß sei noch mit einigen Worten der Fall $\varphi' = \psi$ berührt[2]). Setzt man in der Gl. (11) $\psi = \varphi'$ und $\frac{\beta^2}{2} = \alpha$, so erhält man zur Bestimmung von φ

$$\left(\frac{d\varphi}{da}\right)^4 + 2a\left(\frac{d\varphi}{da}\right)^2 - \varphi^2 = 0, \qquad (14)$$

oder, wenn β als unabhängige Variable eingeführt wird

$$\frac{1}{\beta^4}\left(\frac{d\varphi}{d\beta}\right)^4 + \left(\frac{d\varphi}{d\beta}\right)^2 - \varphi^2 = 0. \qquad (15)$$

Es möge hierbei erwähnt werden, daß man für φ dieselbe Differentialgleichung erhält, falls man die anfangs erwähnte Methode zur Erweiterung des Riemannschen Gesetzes mit Beibehaltung des Hamiltonschen Prinzips anwendet.

Die Lösungen dieser Gleichungen lassen sich nicht in geschlossener Form darstellen. Zeichnet man aber mit Hilfe der Isoklinen die Integralkurven, so findet man, daß die im Punkte $\varphi = 1$, $\beta = 0$ beginnende Integralkurve nicht die ganze, sondern nur einen Teil der bei dem Versuch von Kaufmann entstehenden Kurve gibt. Man müßte, um die ganze Ablenkungskurve zu erhalten, noch eine andere Integralkurve zu Hilfe nehmen und somit eine Diskontinuität in dem Kraftgesetz annehmen, was ja nicht gestattet ist[3]). Hiermit ist aber nicht völlig ausgeschlossen, daß man eine andere empirische Formel für die Kaufmannsche Kurve aufstellen könnte, welche einen besseren Wert für φ zu berechnen gestatten würde.

1) Vgl. S. 153. Note 2.

2) In der in der Note 1 (S. 153) angeführten Arbeit ist dieser Fall etwas ausführlicher behandelt.

3) Dieses ist eben die andere, oben angedeutete Ursache, weshalb wir den anfangs erwähnten Weg zur Erweiterung des Riemannschen Gesetzes mit Beibehaltung des Hamiltonschen Prinzips nicht eingeschlagen haben.

(Eingegangen 19. Februar 1918.)

Über den Einfluß der Eigenrotation der Zentralkörper auf die Bewegung der Planeten und Monde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie.

Von J. Lense und H. Thirring.

In einer kürzlich erschienenen Arbeit[1]) hat der eine von uns das Feld im Inneren einer rotierenden Hohlkugel nach der Einsteinschen Gravitationstheorie angenähert berechnet. Dieses Beispiel schien von prinzipiellem Interesse für die Beantwortung der Frage, ob die Rotation ferner Massen nach der Einsteinschen Theorie tatsächlich ein Gravitationsfeld erzeugt, das einem „Zentrifugalfelde" äquivalent ist. In einer anderen Hinsicht interessant scheint nun die mit denselben Mitteln leicht durchführbare Integration der Feldgleichungen für eine rotierende Vollkugel zu sein. Denn solange man auf dem Boden der Newtonschen Theorie stand, konnte man das Feld im Außenraume einer mit konstanter Raumdichte geladenen (ruhenden oder rotierenden) Kugel exakt durch das Feld eines materiellen Punktes gleicher Masse ersetzen. Auch nach der Einsteinschen Theorie ist das Feld einer ruhenden Kugel aus inkompressibler Flüssigkeit äquivalent dem eines Massenpunktes[2]), das gilt aber nicht mehr für rotierende Kugeln. Hier treten, wie im nachfolgenden gezeigt wird, Zusatzglieder auf, welche Zentrifugal- und Corioliskräften entsprechen. Da sich nun die Planeten im Felde der selbst rotierenden Sonne und die Monde wiederum im Felde der rotierenden Planeten bewegen, erschien es von vornherein nicht ausgeschlossen, durch Beobachtung der Störungen, welche sich aus diesen Zusatzgliedern ergeben, eine neuerliche astronomische Bestätigung der Einsteinschen Theorie zu erhalten. Die im folgenden durchgeführte numerische Berechnung liefert für die Bahnelemente der Planeten Störungen, die jenseits der Beobachtbarkeitsgrenze liegen. Für die Jupitermonde ergeben sich allerdings relativ große säkulare Störungen, die aber noch innerhalb der Meßfehler liegen dürften.

§ 1. Die Berechnung der $g_{\mu\nu}$ für das Feld der rotierenden Vollkugel.

Bezeichnungen:

l Radius der Kugel,
M ihre Masse,
ω ihre Winkelgeschwindigkeit,
$x'\ y'\ z'$ rechtwinkelige Koordinaten eines Punktes des Integrationsraumes,

1) Hans Thirring, diese Zeitschr. 19, 33, 1918; im folgenden als a. a. O. zitiert.

2) K. Schwarzschild, Berl. Ber. 1916, S. 424.

$x\ y\ z$ Koordinaten des Aufpunktes,
k Gravitationskonstante,
ϱ_0 natürlich gemessene Raumdichte der Materie.

Die Berechnung vollzieht sich ganz analog wie in der eingangs zitierten Arbeit: Es wird die Einsteinsche Methode der näherungsweisen Integration[1]) verwendet, nur wird diesmal bei der Bildung des Energietensors der Materie die Geschwindigkeit der felderregenden Massen als so klein gegen 1 (Lichtgeschwindigkeit) angesehen, daß man die Quadrate und Produkte der Geschwindigkeitskomponenten vernachlässigen kann. (Das ergibt gegenüber dem in der früheren Arbeit behandelten Beispiel den Unterschied, daß die Zentrifugalkraftglieder, welche w^2 proportional sind, wegfallen und nur die Coriolisglieder auftreten.) Diese Vernachlässigung ist mit Rücksicht darauf vollkommen gerechtfertigt, daß $l\omega$ für die Sonne und alle Planeten, in jenem Maßsystem gemessen, für das die Lichtgeschwindigkeit $= 1$ wird, sehr klein ist. Außerdem betrachten wir in dem hier behandelten Falle das Feld in größerer Entfernung von der Kugeloberfläche; wenn also r den Abstand Aufpunkt—Kugelmittelpunkt bezeichnet, r' den Abstand Mittelpunkt—Integrationselement und R den Abstand Aufpunkt—Integrationselement, so entwickeln wir $1/R$ in eine Reihe nach r'/r, die wir nach dem quadratischen Gliede abbrechen werden.

Wir gehen dann genau so wie a. a. O. von der von Einstein angegebenen Näherungslösung aus[2]):

$$\left.\begin{aligned} g_{\mu\nu} &= -\delta_{\mu\nu} + \gamma_{\mu\nu} \qquad \delta_{\mu\nu} = \begin{matrix}1 & \mu = \nu\\ 0 & \mu \neq \nu\end{matrix}\\ \gamma_{\mu\nu} &= \gamma'_{\mu\nu} - \frac{1}{2}\delta_{\mu\nu}\sum\gamma'_{\alpha\alpha}\\ \gamma'_{\mu\nu} &= -\frac{k}{2\pi}\int\frac{T_{\mu\nu}(x', y', z', t-R)}{R}\,dV_0\,. \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Hierauf bilden wir den Energietensor der spannungsfreien Materie

$$T_{\mu\nu} = T^{\mu\nu} = \varrho_0\frac{dx_\mu}{ds}\frac{dx_\nu}{ds} = \sigma_0\frac{dx_\mu}{dx_4}\frac{dx_\nu}{dx_4}\left(\frac{dx_4}{ds}\right)^2 \quad (2)$$

mit den Ausdrücken für die Geschwindigkeitskomponenten:

$$\left.\begin{aligned} \frac{dx_1}{dx_4} &= -i\frac{dx'}{dt} = ir'\omega\sin\vartheta'\sin\varphi'\\ \frac{dx_2}{dx_4} &= -i\frac{dy'}{dt} = -ir'\omega\sin\vartheta'\cos\varphi'\\ \frac{dx_3}{dx_4} &= 0 \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

(r', ϑ', φ' Polarkoordinaten eines Punktes der Kugel; Rotation findet um die Z-Achse statt) und erhalten bei Vernachlässigung der Glieder mit ω^2:

$$T_{\mu\nu} = \varrho_0\left(\frac{dx_4}{ds}\right)^2\begin{Bmatrix} 0, & 0, & 0, & ir'\omega\sin\vartheta'\sin\varphi'\\ 0, & 0, & 0, & -ir'\omega\sin\vartheta'\cos\varphi'\\ 0, & 0, & 0, & 0\\ ir'\omega\sin\vartheta'\sin\varphi', & -ir'\omega\sin\vartheta'\cos\varphi', & 0, & 1 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

Für dV_0 haben wir gemäß Gleichungen (7) und (8) a. a. O. zu setzen:

$$dV_0 = i\frac{dx_4}{ds}r'^2\,dr'\sin\vartheta'\,d\vartheta'\,d\varphi'. \quad (5)$$

Um $1/R$ durch die Integrationsvariabeln auszudrücken, wählen wir wieder das Koordinatensystem so, daß der Aufpunkt in die Z—X-Ebene zu liegen kommt. Dann gilt bei Einführung von Polarkoordinaten

$$x = r\sin\vartheta,\quad y = 0,\quad z = r\cos\vartheta$$

und es wird:

$$R^2 = (r'\sin\vartheta'\cos\varphi' - r\sin\vartheta)^2 + r'^2\sin^2\vartheta'\sin^2\varphi' + (r'\cos\vartheta' - r\cos\vartheta)^2 =$$
$$= r^2\left[1 - \frac{2r'}{r}(\sin\vartheta'\cos\varphi'\sin\vartheta + \cos\vartheta'\cos\vartheta) + \frac{r'^2}{r^2}\right].$$

Wir entwickeln in die binomische Reihe und brechen nach dem zweiten Gliede ab:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r}\left\{1 + \frac{r'}{r}(\sin\vartheta'\cos\varphi'\sin\vartheta + \cos\vartheta'\cos\vartheta) - \right.$$
$$\left. - \frac{1}{2}\frac{r'^2}{r^2} + \frac{3}{2}\frac{r'^2}{r^2}(\sin\vartheta'\cos\varphi'\sin\vartheta + \cos\vartheta'\cos\vartheta)^2\right\}. \quad (6)$$

Wir bezeichnen wieder den Ausdruck in der geschlungenen Klammer mit K und schreiben

$$\frac{1}{R} = \frac{K}{r}. \quad (6a)$$

Setzen wir nun (4), (5) und (6a) in die letzte Gleichung (1) ein, so ergibt sich

[1]) A. Einstein, Berl. Ber. 1916, S. 688.

[2]) In der entsprechenden Gl. (2) a. a. O. ist versehentlich der Faktor $\delta_{\mu\nu}$ weggelassen worden.

$$\gamma'_{14} = -\frac{i\varkappa}{2\pi}\frac{\varrho_0}{r}\int_0^l r'^2\,dr'\int_0^{2\pi}d\varphi'\int_0^{\pi}d\vartheta'\left(\frac{dx_4}{ds}\right)^3\sin\vartheta' K$$

$$\gamma'_{14} = \frac{\varkappa}{2\pi}\frac{\varrho_0}{r}\,\omega\int_0^l r'^3\,dr'\int_0^{2\pi}d\varphi'\int_0^{\pi}d\vartheta'\left(\frac{dx_4}{ds}\right)^3\sin^2\vartheta'\sin\varphi' K \qquad (7)$$

$$\gamma'_{24} = -\frac{\varkappa}{2\pi}\frac{\varrho_0}{r}\,\omega\int_0^l r'^3\,dr'\int_0^{2\pi}d\varphi'\int_0^{\pi}d\vartheta'\left(\frac{dx_4}{ds}\right)^3\sin^2\vartheta'\cos\varphi' K$$

$$\gamma'_{11} = \gamma'_{22} = \gamma'_{33} = \gamma'_{12} = \gamma'_{13} = \gamma'_{23} = \gamma'_{34} = 0.$$

Bei Vernachlässigung der Glieder mit ω^2 und Benutzung des ersten Gesichtspunktes der Approximation gilt:

$$\left(\frac{dx_4}{ds}\right)^3 = i \quad \text{(vgl. Gl. [11] a. a. O.)}.$$

Setzt man diesen Wert für $\left(\frac{dx_4}{ds}\right)^3$, sowie den Ausdruck für K aus (6) und (6a) in (7) ein, so erhält man nach Auswertung der Integrale

$$\left.\begin{aligned}
&\gamma'_{44} = \frac{\varkappa}{2\pi}\frac{M}{r}\\
&\gamma'_{14} = 0\\
&\gamma'_{24} = -i\,\frac{\varkappa}{2\pi}\frac{M}{r}\frac{l}{5r}\,\omega l\sin\vartheta\\
&\gamma'_{11} = \gamma'_{22} = \gamma'_{33} = \gamma'_{12} = \gamma'_{13} = \gamma'_{23} = \gamma'_{34} = 0.
\end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Daraus folgt weiter gemäß (1), wenn man wieder rechtwinkelige Koordinaten einführt und an Stelle der Einsteinschen die Newtonsche Gravitationskonstante $k = \frac{\varkappa}{8\pi}$ setzt

$$\left.\begin{aligned}
g_{11} = g_{22} = g_{33} &= -1 - \frac{2kM}{r}\\
g_{44} &= -1 + \frac{2kM}{r}\\
g_{24} &= -i\,\frac{4kM}{r}\frac{lx}{5r^2}\,\omega l\\
g_{12} = g_{13} = g_{23} = g_{14} &= g_{34} = 0.
\end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

Macht man sich nun von der speziellen Wahl des Koordinatensystems, bei welcher der Aufpunkt in die Z-X-Ebene fällt, durch eine Drehung des Systems frei, so erhält man das endgültige Koeffizientenschema:

$$g_{\mu\nu} = \begin{vmatrix}
-1-\frac{2kM}{r} & 0, & 0, & i\frac{4kM}{5r}\frac{ly}{r^2}\,\omega l\\
0, & -1-\frac{2kM}{r} & 0, & -i\frac{4kM}{5r}\frac{lx}{r^2}\,\omega l\\
0, & 0 & -1-\frac{2kM}{r} & 0\\
i\frac{4kM}{5r}\frac{ly}{r^2}\,\omega l, & -i\frac{4kM}{5r}\cdot\frac{lx}{r^2}\,\omega l, & 0, & -1+\frac{2kM}{r}.
\end{vmatrix} \qquad (10)$$

§ 2. Die Bewegungsgleichungen eines Massenpunktes im Felde der rotierenden Vollkugel.

Es sollen im folgenden die Bewegungsgleichungen eines Massenpunktes im Felde der rotierenden Vollkugel aufgestellt werden, wobei wir voraussetzen, daß seine Geschwindigkeit so klein sei, daß wir die Quadrate und Produkte der Geschwindigkeitskomponenten gegen 1 vernachlässigen können. Es sei dabei von vornherein betont, daß es uns hier nur darum zu tun ist, jene Störungsglieder der Planetenbewegung zu finden, welche von der Rotation der Zentralkörper herrühren. Um eine im Sinne der Einsteinschen Theorie genügend exakte Lösung des Planetenproblems zu erhalten, muß man diesen hier berechneten Störungsgliedern noch jene hinzufügen, welche auf die bekannte Perihelbewegung führen[1]). Denn, obwohl die Glieder, welche von der Eigenrotation der Zentralkörper herrühren, schon aus der ersten Näherung der Einsteinschen Theorie hervorgehen, während die eben erwähnte Perihelstörung erst aus der zweiten Näherung gewonnen wurde, ist es doch nicht etwa angängig die ersteren zu berücksichtigen und die letzteren zu vernachlässigen. Warum man das nicht tun darf, geht aus folgenden Erwägungen hervor: Jene Zusatzglieder, durch welche sich der weiter unten entwickelte Kraftansatz von dem Newtonschen unterscheidet, sind proportional $\omega l v$, wobei v

1) A. Einstein, Berl. Ber. 1915, S. 831.

die Geschwindigkeit des Planeten, bzw. Mondes darstellt, während ωl die Geschwindigkeit eines Punktes am Äquator des Zentralkörpers darstellt. Nun gilt aber sowohl für das System Sonne-Planeten, als auch für die in Betracht kommenden Systeme Planeten-Monde die Ungleichung:

$$v > \omega l. \qquad (11)$$

Wenn wir also die Glieder mit $\omega l v$ in Rechnung ziehen, so müssen wir erst recht auch jene Glieder in den Bewegungsgleichungen berücksichtigen, welche die Quadrate und Produkte der Geschwindigkeitskomponenten des Massenpunktes enthalten. Tun wir das aber, dann dürfen wir überhaupt nicht mehr mit der ersten Näherung allein rechnen, denn jene Glieder, welche in der zweiten Näherung zu den Newtonschen Gliedern hinzutreten, verhalten sich zu ihnen wie $\frac{\alpha}{r} : 1$, $(\alpha = 2kM)$. Das Geschwindigkeitsquadrat eines Planeten ist aber ebenfalls von der Größenordnung α/r; die Berücksichtigung der quadratischen Glieder in den Geschwindigkeiten bedingt also logisch auch die Berücksichtigung der aus der zweiten Näherung hervorgehenden Glieder. Daraus folgt nun, daß wegen der Gültigkeit der Ungleichung (11) die hier angestellten Rechnungen an und für sich keinen Sinn hätten. Man wird sie aber doch praktisch verwenden können, wenn man bedenkt, daß alle hier in Betracht kommenden Störungen ja so klein sind, daß man sie einander linear überlagern darf. Man gelangt also zu dem gewünschten Resultat einer Bahnberechnung mit Berücksichtigung aller Relativitätseinflüsse, wenn man der Rechnung die von Einstein in seiner Merkur-Arbeit angegebenen Bewegungsgleichungen zugrunde legt und ihnen noch die im folgenden berechneten Störungsglieder hinzufügt.

Wie a. a. O. gezeigt wurde, gehen unter Verwendung der oben angegebenen Vernachlässigung und mit den Koordinaten $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$, $x_4 = it$ die allgemeinen Bewegungsgleichungen

$$\frac{d^2 x_\tau}{ds^2} = \Gamma^\tau_{\mu\nu} \frac{dx_\mu}{ds} \frac{dx_\nu}{ds}$$

über in

$$\frac{d^2 x_\tau}{dt^2} = 2i\left(\Gamma^\tau_{14}\frac{dx_1}{dt} + \Gamma^\tau_{24}\frac{dx_2}{dt} + \Gamma^\tau_{34}\frac{dx_3}{dt}\right) - \Gamma^\tau_{44}. \qquad (12)$$

Die hier auftretenden 16 Größen $\Gamma^\tau_{\sigma\iota}$ lauten nach dem ersten Gesichtspunkte der Approximation für ein stationäres Feld:

$$\begin{array}{llll}
\Gamma^1_{14} = 0, & \Gamma^1_{24} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial g_{14}}{\partial x_2} - \frac{\partial g_{24}}{\partial x_1}\right), & \Gamma^1_{31} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial g_{14}}{\partial x_3} - \frac{\partial g_{34}}{\partial x_1}\right), & \Gamma^1_{44} = -\frac{1}{2}\frac{\partial g_{44}}{\partial x_1}, \\
\Gamma^2_{14} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial g_{24}}{\partial x_1} - \frac{\partial g_{14}}{\partial x_2}\right), & \Gamma^2_{24} = 0, & \Gamma^2_{34} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial g_{24}}{\partial x_3} - \frac{\partial g_{34}}{\partial x_2}\right), & \Gamma^2_{44} = -\frac{1}{2}\frac{\partial g_{44}}{\partial x_2}, \\
\Gamma^3_{14} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial g_{34}}{\partial x_1} - \frac{\partial g_{11}}{\partial x_3}\right), & \Gamma^3_{24} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial g_{34}}{\partial x_2} - \frac{\partial g_{24}}{\partial x_3}\right), & \Gamma^3_{34} = 0, & \Gamma^3_{44} = -\frac{1}{2}\frac{\partial g_{44}}{\partial x_3}, \\
\Gamma^4_{14} = \frac{1}{2}\frac{\partial g_{44}}{\partial x_1}, & \Gamma^4_{24} = \frac{1}{2}\frac{\partial g_{44}}{\partial x_2}, & \Gamma^4_{34} = \frac{1}{2}\frac{\partial g_{44}}{\partial x_3}, & \Gamma^4_{44} = 0.
\end{array} \qquad (13)$$

Für unser Feld, das durch Gleichungen (10) gegeben ist, geht dieses Schema über in:

$$\begin{array}{llll}
0, & -i\frac{2kM}{5r^2}\frac{\omega l^2}{r}\frac{x^2+y^2-2z^2}{r^2}, & -i\frac{6kM}{5r^2}\frac{\omega l^2}{r}\frac{yz}{r^2}, & \frac{kM}{r^2}\frac{x}{r}, \\
+i\frac{2kM}{5r^2}\frac{\omega l^2}{r}\frac{x^2+y^2-2z^2}{r^2}, & 0, & +i\frac{6kM}{5r^2}\frac{\omega l^2}{r}\frac{xz}{r^2}, & \frac{kM}{r^2}\frac{y}{r}, \\
+i\frac{6kM}{5r^2}\frac{\omega l^2}{r}\frac{yz}{z^2}, & -i\frac{6kM}{5r^2}\frac{\omega l^2}{r}\frac{xz}{r^2}, & 0, & \frac{kM}{r^2}\frac{z}{r}, \\
-\frac{kM}{r^2}\frac{x}{r}, & -\frac{kM}{r^2}\frac{y}{r}, & -\frac{kM}{r^2}\frac{z}{r}, & 0,
\end{array} \qquad (14)$$

Durch Einsetzen dieser Werte für die $\Gamma^\tau_{\sigma\iota}$ in (12) erhalten wir die gesuchten Bewegungsgleichungen:

$$\begin{aligned}
\ddot{x} &= \frac{kM}{r^2}\frac{\omega l^2}{r}\left[\frac{4}{5}\frac{x^2+y^2-2z^2}{r^2}\cdot + \frac{12}{5}\frac{yz}{r^2}\dot{z}\right] - \frac{kM}{r^2}\frac{x}{r}, \\
\ddot{y} &= -\frac{kM}{r^2}\frac{\omega l^2}{r}\left[\frac{4}{5}\frac{x^2+y^2-2z^2}{r^2}\dot{x} + \frac{12}{5}\frac{z}{r^2}\dot{z}\right] - \frac{kM}{r^2}\frac{y}{r} \qquad (15) \\
\ddot{z} &= \frac{kM}{r^2}\frac{\omega l^2}{r}\frac{12}{5}\frac{z}{r}\frac{x\dot{y}-y\dot{x}}{r} - \frac{kM}{r^2}\frac{z}{r}.
\end{aligned}$$

Die letzten Glieder der rechten Seite stellen die Newtonsche Kraft dar; an ihre Stelle hat man, wie oben auseinandergesetzt, die Kraftkomponenten gemäß der Einsteinschen Merkur-Arbeit zu setzen. Die ersten Glieder auf der rechten Seite sind die uns interessierenden Störungsglieder, welche von der Eigenrotation der Zentralkörper herrühren.

§ 3. Berechnung der durch die Eigenrotation des Zentralkörpers hervorgerufenen Störungen.

Die in den Gleichungen (15) auftretenden Störungsglieder sind als Komponenten X, Y, Z der durch die Eigenrotation des Zentralkörpers verursachten störenden Kraft anzusehen. Wir zerlegen sie in drei andere, aufeinander senkrecht stehende Komponenten S, T, W, wobei S die radiale, T die transversale und W die orthogonale (normal zur Planetenbahnebene) bedeuten möge, und führen folgende in der Astronomie übliche Bezeichnungen ein:

a große Halbachse,
e Exzentrizität,
$p = a(1-e^2)$ Halbparameter,
$i = \sphericalangle y\,\Omega\,\Pi$ Neigung,
$\Omega = \sphericalangle XO\Omega$ Länge des Knotens,
$\tilde{\omega} =$ gebrochener $\sphericalangle XO\Pi$, Länge des Perizentrums,
L_0 mittlere Länge der Epoche = mittlere Länge des Planeten oder Trabanten zur Zeit $t = 0$ (ebenfalls ein gebrochener Winkel, gezählt von der X-Achse an),
$v = \sphericalangle \Pi OP$ wahre Anomalie,
$u = \sphericalangle \Omega OP = v + \tilde{\omega} - \Omega$ Argument der Breite,
U Umlaufszeit des Planeten oder Trabanten in Tagen,

$n = \frac{2\pi}{U} = \sqrt{\frac{kM}{a^3}}$ mittlere tägliche Bewegung,

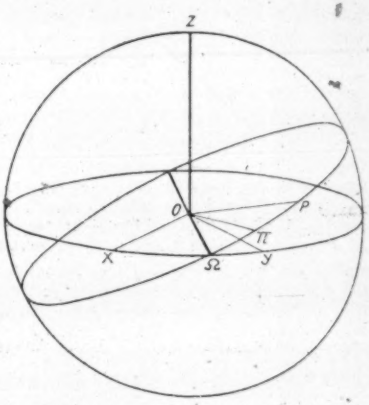
$C = r^2\dot{v} = na^2\sqrt{1-e^2}$ doppelte Flächengeschwindigkeit.

Ferner werde noch zur Abkürzung die in den Gleichungen (15) auftretende Konstante $\frac{4kM\omega l^2}{5} = K$ gesetzt.

Es ist nun

$$x = r(\cos u\cos\Omega - \sin u\sin\Omega\cos i)$$
$$y = r(\cos u\sin\Omega + \sin u\cos\Omega\cos i)$$
$$z = r\sin u\sin i$$
$$r = \frac{p}{1 + e\cos v}$$
$$x\dot{y} - y\dot{x} = C\cos i,$$

ferner



Π und P bedeuten die vom Mittelpunkt O des Zentralkörpers auf die Sphäre projizierten Örter des Perizentrums und des Planeten oder Trabanten.

$$S = X(\cos u\cos\Omega - \sin u\sin\Omega\cos i) +$$
$$+ Y(\cos u\sin\Omega + \sin u\cos\Omega\cos i) + Z\sin u\sin i$$
$$T = -X(\sin u\cos\Omega + \cos u\sin\Omega\cos i) -$$
$$- Y(\sin u\sin\Omega - \cos u\cos\Omega\cos i) + Z\cos u\sin i$$
$$W = X\sin\Omega\sin i - Y\cos\Omega\sin i + Z\cos i.$$

Setzt man die durch die Gleichungen (15) gelieferten Werte von X, Y, Z unter Benutzung der angegebenen Beziehungen und Bezeichnungen in diese Formeln für S, T, W ein, so erhält man nach längerer Zwischenrechnung

$$S = \frac{KC\cos i}{r^4}$$

$$T = -\frac{K\dot{r}\cos i}{r^3} = -\frac{KCe\cos i\sin v}{pr^3}$$

$$W = \frac{K\sin i}{r^4}(2C\sin u + r\dot{r}\cos u) = \tag{16}$$
$$= \frac{KC\sin i}{r^4}\left(\frac{re\sin v\cos u}{p} + 2\sin u\right).$$

Die Änderungen der Bahnelemente durch die störende Kraft sind gegeben durch die Gleichungen

$$\frac{da}{dt} = \frac{2}{n\sqrt{1-e^2}}\left(Se\sin v + T\frac{p}{r}\right)$$

$$\frac{de}{dt} = \frac{\sqrt{1-e^2}}{na}\left[S\sin v + T\left(e + \frac{r+a}{a}\cos v\right)\right]$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{C}Wr\cos u$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{C\sin i}Wr\sin u$$

$$\frac{d\tilde{\omega}}{dt} = \frac{\sqrt{1-e^2}}{nae}\left[-S\cos v + T\left(1+\frac{r}{p}\right)\sin v\right] + \\ + 2\sin^2\frac{i}{2}\frac{d\Omega}{dt}$$

$$\frac{dL_0}{dt} = -\frac{2}{na^2}Sr + \frac{e^2}{1+\sqrt{1-e^2}}\frac{d\tilde{\omega}}{dt} + \\ + 2\sqrt{1-e^2}\sin^2\frac{i}{2}\frac{d\Omega}{dt},$$

die sich nach Einsetzung der Werte (16) in folgender Form darstellen lassen:

$$\frac{da}{dt} = 0$$

$$\frac{de}{dt} = \frac{K\cos i}{Ca}\sin v\cdot\dot{v}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{K\sin i}{Cp}\cos u\,[e\sin v\cos u + \\ + 2(1+e\cos v)\sin u]\,\dot{v}$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{K}{Cp}\sin u\,[e\sin v\cos u + \\ + 2(1+e\cos v)\sin u]\,\dot{v}$$

$$\frac{d\tilde{\omega}}{dt} = -\frac{K\cos i}{Ca}\left(2+\frac{1+e^2}{e}\cos v\right)\dot{v} + \\ + 2\sin^2\frac{i}{2}\frac{d\Omega}{dt}$$

$$\frac{dL_0}{dt} = -\frac{2K\cos i}{na^2p}(1+e\cos v)\,\dot{v} + \\ + \frac{e^2}{1+\sqrt{1-e^2}}\frac{d\tilde{\omega}}{dt} + 2\sqrt{1-e^2}\sin^2\frac{i}{2}\frac{d\Omega}{dt}.$$

Im Sinne der Störungstheorie betrachten wir die auf der rechten Seite stehenden Bahnelemente wegen des außerordentlich kleinen Faktors K als konstant und integrieren nur über v, wobei zu beachten ist, daß $u = v + \tilde{\omega} - \Omega$, berechnen also die Störungen erster Ordnung bezüglich K. Wir erhalten somit, wenn wir noch $K_1 = \frac{K}{na^2}$ einführen,

$$\Delta a = 0$$

$$\Delta e = -\frac{K_1\cos i}{\sqrt{1-e^2}}\cos v$$

$$\Delta i = -\frac{K_1\sin i}{2(1-e^2)^{1/2}}(\cos 2u + 2e\cos v\cos^2 u)$$

$$\Delta\Omega = \frac{K_1}{(1-e^2)^{3/2}}\left[v - \frac{1}{2}\sin 2u + \\ + e\left(\sin v - \frac{1}{2}\sin 2u\cos v\right)\right]$$

$$\Delta\tilde{\omega} = -\frac{K_1\cos i}{(1-e^2)^{1/2}}\left(2v + \frac{1+e^2}{e}\sin v\right) + \\ + 2\sin^2\frac{i}{2}\Delta\Omega$$

$$\Delta L_0 = -\frac{2K_1\cos i}{1-e^2}(v + e\sin v) + \\ + \frac{e^2}{1+\sqrt{1-e^2}}\Delta\tilde{\omega} + 2\sqrt{1-e^2}\sin^2\frac{i}{2}\Delta\Omega.$$

Es folgt das interessante Resultat, daß die Störungen der großen Halbachse exakt verschwinden. Während in Δe und Δi nur periodische Glieder auftreten, kommen in den übrigen Elementenstörungen auch säkulare vor, nämlich wegen $v = nt +$ period. Glieder

$$\Delta\Omega = \frac{K_1}{(1-e^2)^{3/2}}nt \qquad (17)$$

$$\Delta\tilde{\omega} = \Delta L_0 = -\frac{2K_1}{(1-e^2)^{3/2}}\left(1 - 3\sin^2\frac{i}{2}\right)nt.$$

§ 4. Numerische Resultate.

Die numerische Auswertung zeigt, daß im System Sonne—Planeten diese säkularen Störungen, selbst für den Zeitraum eines Jahrhunderts, unterhalb jeder Beobachtungsmöglichkeit bleiben; denn sie erreichen im Maximum 0,01″ (beim Merkurperihel). Anders steht die Sache in den Systemen Planet—Monde. Hier kommen etwas größere Zahlen vor. Für die numerische Rechnung ist es besser, die gewonnenen Formeln (17) zu transformieren. Es möge dabei folgende Bezeichnungsweise gelten:

l Radius des Planeten in cm,
τ Rotationsdauer des Planeten in Tagen,
a große Halbachse der Trabantenbahn in cm,
a_1 „ „ „ Planetenbahn „ cm,
U Umlaufszeit des Trabanten in Tagen,
U_1 „ „ Planeten „ „ ,
J Anzahl der Tage im Jahr,
c Lichtgeschwindigkeit in cm sec^{-1}.

Dann liefern uns die aus (17) resultierenden Formeln

$$2\Delta\Omega = -\Delta\tilde{\omega} = -\Delta L_0 = \frac{\pi^2 J l^2}{9c^2\tau U^2} \qquad (18)$$

die infolge der Rotation des Planeten in den Elementen der Satellitenbahn hervorgerufenen Störungen in Bogensekunden pro Jahrhundert. Dabei wurde $e^2 = i^2 = 0$ gesetzt, was für die in Betracht kommenden Monde bei der angestrebten Genauigkeit erlaubt ist.

Darüber lagern sich additiv im Sinne von § 2 die von Einstein in seiner Merkur-Arbeit besprochenen Störungen, die teils von der direkten Wirkung des Planeten, teils von der störenden Wirkung der Sonne herrühren. Jene sind gegeben durch

$$\Delta\Omega = 0, \quad \Delta\bar{\omega} = \Delta L_0 = \frac{5\pi^2 J}{24 c^2} \frac{a^2}{U^3(1-e^2)}, \quad (19)$$

diese[1]) durch

$$4\Delta\Omega = \Delta\bar{\omega} = \Delta L_0 = \frac{5\pi^2 J}{12 c^2} \frac{a_1^2}{U_1^3}, \quad (20)$$

alle in Bogensekunden pro Jahrhundert. Bei letzteren wurden wieder Exzentrizität und Neigung der Planeten- und Trabantenbahn vernachlässigt, was durch die außerordentliche Kleinheit dieser Glieder gerechtfertigt ist, wie Tabelle I zeigt:

Tabelle I.

	$\Delta\Omega$	$\Delta\bar{\omega} = \Delta L_0$
Erdmond	$+1{,}9''$	$+7{,}7''$
Beide Marsmonde . . .	$+0{,}7''$	$+2{,}7''$

Bei allen übrigen Monden sind sie bedeutend kleiner.

Die Störungen durch die Eigenrotation des Planeten sind in Tabelle II enthalten.

Tabelle II.

	Jupiter			Saturn				
	V	I	II	1	2	3	4	5
$\Delta\Omega$	$+1'53''$	$+9''$	$+2''$	$+20''$	$+10''$	$+5''$	$+2''$	$+1''$
$\Delta\bar{\omega} = \Delta L_0$	$-3\,46''$	$-18''$	$-4''$	$-41''$	$-19''$	$-10''$	$-5''$	$-2''$

Bei allen andern Satelliten bleiben sie unterhalb $0{,}5''$.

Am größten sind die der Einsteinschen Merkurperihelbewegung analogen Glieder (Formeln [19]), wie aus Tabelle III hervorgeht.

Tabelle III.

($\Delta\Omega = 0$)

	$\Delta\bar{\omega} = \Delta L_0$		$\Delta\bar{\omega} = \Delta L_0$
Mars 1	$22''$	Jupiter I	$4'\,28$
2	2	II	1 24
Saturn 1	$5'\,46''$	III	26
2	3 03	IV	6
3	1 47	V	36 37
4	59	Uranus 1	22
5	25	2	10
6	3	3	3
7	2	4	1
10	2	Neptunmond	5

Bei den nicht angeführten Monden sind sie kleiner als $0{,}5''$.

Wenn wir nun alle drei Gattungen von Gliedern addieren, um sämtliche Relativitätseinflüsse zu erhalten, haben wir folgendes zu berücksichtigen: Die in Einsteins Merkur-Arbeit behandelte Korrektion des Newtonschen Gesetzes wird durch eine längs des Radiusvektors wirkende Störungskraft bedingt, deren Komponenten sich aus der zitierten Abhandlung zu

$$S = -\frac{3n^2a^3C}{2c^2}\frac{\dot{v}}{r^2}, \quad T = W = 0,$$

also unabhängig von der Wahl des Koordinatensystems ergeben. Infolgedessen können die entsprechenden Störungen (Formeln [19] und Tabelle III) auf eine beliebige XY-Ebene bezogen werden. Die in den Formeln (20) enthaltenen Elementenänderungen, hervorgerufen durch die von der klassischen Form abweichende störende Wirkung der Sonne, sind dagegen, wie schon erwähnt, auf die Bahnebene des Planeten bezogen, also auch die aus ihnen gerechneten Zahlen der Tabelle I, während sich in Tabelle II, welche die von der Rotation der Planeten herrührenden Störungsglieder enthält, alles gemäß der in der vorliegenden Abhandlung getroffenen Wahl des Koordinatensystems auf die Äquatorebene des Zentralkörpers bezieht. Es gilt demnach für die alle Relativitätseinflüsse zusammenfassende Tabelle IV folgendes: Beim Erdmond und den beiden Marsmonden treten nur Glieder (19) und (20) auf, die Referenzebene ist sonach die Bahnebene des Planeten, bei den Jupiter- und Saturntrabanten dagegen die Äquatorebene des betreffenden Zentralkörpers, weil hier wiederum nur Glieder (18) und (19) vorkommen; die Störungen der Uranusmonde und des Neptunmondes enthalten nur Glieder (19), folglich kann die Bezugsebene beliebig gewählt werden.

Tabelle IV.

	$\Delta\Omega$	$\Delta\bar{\omega} = \Delta L_0$	Δt
Erdmond	$2''$	$8''$	$13{,}9^s$
Mars 1. Phobos . .	1	25	0,5
2. Deimos . .	1	5	0,4
Jupiter I	9	$4'\,10''$	29,5
II	2	1 20	18,9
III	0	26	12,5
IV	0	6	7,1
V	$1'\,53''$	32 51	$1^m\,5{,}4^s$
Saturn 1. Mimas .	20	5 05	19,2
2. Enceladus	10	2 44	15,0
3. Tethys .	5	1 37	12,2
4. Dione .	2	54	9,2
5. Rhea . .	1	23	6,9
6. Titan . .	0	3	3,3
7. Hyperion	0	2	2,7
10. Themis .	0	2	2,9
Uranus 1. Ariel .	0	22	3,7
2. Umbriel .	0	10	2,7
3. Titania .	0	3	1,5
4. Oberon .	0	1	1,0
Neptunmond . . .	0	5	2,1

[1]) W. de Sitter, Planetary motion and the motion of the moon according to Einstein's theory. Amsterdam Proc. Bd. 19, 1916. In den Formeln (20) ist anschließend an de Sitter die Bahnebene des Planeten als XY-Ebene verwendet. In der de Sitterschen Abhandlung fehlt auf S. 379 Formel (38) vor $\delta\bar{\omega}$ der Faktor $1/4$.

Zu der mit Δt überschriebenen Spalte ist folgendes zu sagen: Die säkulare Störung in der mittleren Länge bewirkt eine Änderung der mittleren täglichen Bewegung, d. h. an der zwischen zwei bestimmten Ereignissen, z. B. Verfinsterung der Jupitermonde, verflossenen Zeit wäre eine gewisse Korrektion anzubringen, wenn es keine Relativitätseinflüsse gäbe. Diese Korrektion ist für eine Zwischenzeit von hundert Jahren in der letzten Spalte der Tabelle IV angegeben und wird durch die Formel

$$\Delta t = \frac{1}{15} U \Delta L_0$$

erhalten.

Zusammenfassung.

Die Störungsglieder der Planeten- und Mondbahnen, welche nach der Einsteinschen Theorie von der Eigenrotation der Zentralkörper herrühren, sind kleiner als jene, welche aus der zweiten Näherung der Theorie hervorgehen und die auf die Perihelbewegung des Merkur führen. Sie kommen gegenüber diesen Gliedern bei den Planetenbahnen gar nicht in Betracht, müssen aber bei den Bahnen der Jupiter- und Saturn-Monde mit in Rechnung gezogen werden. Es wurden die säkularen Störungen, die von sämtlichen in Betracht kommenden Relativitätseinflüssen herrühren, für die Monde der äußeren Planeten berechnet. Obwohl sie teilweise — z. B. beim 5. Jupitermond — eine beträchtliche Größe erreichen, dürften die bis heute vorliegenden Beobachtungen nicht genau genug sein, um eine Prüfung der Theorie aus den Störungen der Mondbahnen zu gestatten.

Wien, Februar 1918. Institut für theoretische Physik der Universität.

(Eingegangen 21. Februar 1918.)

Über die Energiekomponenten des Gravitationsfeldes.

Von Hans Bauer.

E. Schrödinger hat in seiner Untersuchung[1]) über die von A. Einstein als Energiekomponenten des Gravitationsfeldes bezeichneten Ausdrücke t_σ^α nachgewiesen, daß diese Größen, die selbst nicht Tensorkovarianz besitzen, bei geeigneter Wahl des Koordinatensystems auch bei Vorhandensein eines Gravitationsfeldes verschwinden können, was sicherlich dazu angetan ist, das Vertrauen in die physikalische Bedeutung dieser Ausdrücke, wie sie Einstein ihnen beilegt, zu erschüttern. Die folgenden Ausführungen werden dieses Mißtrauen noch verstärken, indem durch sie das Umgekehrte gezeigt werden wird, daß die Größen t_σ^α, bezogen auf ein passendes Koordinatensystem, bei nicht vorhandenem Gravitationsfelde nicht verschwinden.

Die Einsteinschen Energiekomponenten t_σ^α des Gravitationsfeldes[1]) sind durch die folgende Beziehung definiert:

$$\varkappa t_\sigma^\alpha = \frac{1}{2}\delta_\sigma^\alpha g^{\mu\nu}\Gamma^\lambda_{\mu\beta}\Gamma^\beta_{\nu\lambda} - g^{\mu\nu}\Gamma^\alpha_{\mu\beta}\Gamma^\beta_{\nu\sigma}; \quad (1)$$

dabei ist

$$\Gamma^\lambda_{\mu\nu} = -\frac{1}{2}g^{\lambda\beta}\left(\frac{\partial g_{\mu\beta}}{\partial x_\nu} + \frac{\partial g_{\nu\beta}}{\partial x_\mu} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_\beta}\right) \quad (2)$$

— über zweimal auftretende allgemeine Indizes ist von 1 bis 4 zu summieren —

$$\delta_\sigma^\alpha = \begin{matrix}0\\1\end{matrix}\Big\} \text{ für } \begin{matrix}\sigma \neq \alpha\\ \sigma = \alpha\end{matrix} \quad (3)$$

und $\varkappa$ im wesentlichen die Gravitationskonstante. Der vorstehende Ausdruck für die Energiekomponenten wurde jedoch von Einstein unter der Voraussetzung abgeleitet, daß die Determinante der $g_{\mu\nu}$

$$g = |g_{\mu\nu}| = -1 \quad (4)$$

ist, einer Beschränkung, der wir bei der Berechnung desselben das zu wählende Koordinatensystem unterwerfen müssen.

In hinreichend großer Entfernung von aller Materie lautet das Quadrat des Bogenelements in Polarkoordinaten:

$$ds^2 = dt^2 - dr^2 - r^2(d\vartheta^2 + \sin^2\vartheta\, d\varphi^2) \quad (5)$$

und wir erkennen sogleich, daß diese Koordinaten der Bedingung (4) nicht entsprechen. Wir wählen deshalb an ihrer Statt die von Schwarzschild[2]) verwendeten Polarkoordinaten

$$x_1 = \frac{r^3}{3},\quad x_2 = -\overline{\cos\vartheta},\quad x_3 = \varphi,\quad x_4 = t, \quad (6)$$

wo x_1, x_2, x_3 die räumlichen Koordinaten sind und x_4 die Zeit bedeutet. Das Quadrat des Bogenelements nimmt bei Einführung dieser Koordinaten die Gestalt an:

$$\begin{aligned} ds^2 = {} & dx_4^2 - \frac{dx_1^2}{(3x_1)^{1/3}} - \\ & - (3x_1)^{1/3}\left[\frac{dx_2^2}{1-x_2^2} + (1-x_2^2)\,dx_3^2\right], \end{aligned} \quad (7)$$

aus der wir das folgende Schema der Koeffizienten $g_{\mu\nu}$ ablesen:

---

1) E. Schrödinger, diese Zeitschr. 19, 4—7, 1918.

1) A. Einstein, Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. Leipzig, J. A. Barth, 1916, S. 45 ff.

2) K. Schwarzschild, Berl. Ber. 1916, S. 189 ff.

$$\begin{matrix} -\frac{1}{(3x_1)^{4/3}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{(3x_1)^{2/3}}{1-x_2^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -(3x_1)^{2/3}(1-x_2^2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \quad (8)$$

Wir überzeugen uns leicht, daß die Forderung (4) jetzt erfüllt wird. Die zu den $g_{\mu\nu}$ adjungierten, normierten Unterdeterminanten 1. Ordnung $g^{\mu\nu}$ zeigt die folgende Anordnung:

$$\begin{matrix} -(3x_1)^{4/3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1-x_2^2}{(3x_1)^{4/3}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{(3x_1)^{2/3}(1-x_2^2)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix} \quad (9)$$

Für ein Gravitationsfeld von Kugelsymmetrie schreibt Schwarzschild l. c. das Bogenelement in seinen Polarkoordinaten ganz allgemein in der Form:

$$ds^2 = f_4 dx_4^2 - f_1 dx_1^2 - f_2\left[\frac{dx_2^2}{1-x_2^2} + (1-x_2^2)dx_3^2\right], \quad (10)$$

wobei die Größen f_1, f_2, f_4 nur von x_1 abhängen. Von dieser Gestalt ist auch der Ausdruck (7) und es wird insbesondere

$$f_1 = (3x_1)^{-4/3}, \quad f_2 = (3x_1)^{2/3}, \quad f_4 = 1. \quad (11)$$

Schwarzschild findet ferner l. c. für die Ausdrücke $\Gamma^\lambda_{\mu\nu}$ die folgenden Werte:

$$\begin{aligned} \Gamma^1_{11} &= -\frac{1}{2f_1}\frac{df_1}{dx_1}, & \Gamma^2_{22} &= \frac{x_2}{1-x_2^2}, \\ \Gamma^1_{22} &= \frac{1}{2f_1}\frac{df_2}{dx_1}\frac{1}{1-x_2^2}, & \Gamma^2_{33} &= -x_2(1-x_2^2), \\ \Gamma^1_{33} &= \frac{1}{2f_1}\frac{df_2}{dx_1}(1-x_2^2), & \Gamma^3_{13} &= -\frac{1}{2f_2}\frac{df_2}{dx_1}, \\ \Gamma^1_{44} &= -\frac{1}{2f_1}\frac{df_4}{dx_1}, & \Gamma^3_{23} &= \frac{x_2}{1-x_2^2}, \\ \Gamma^2_{12} &= -\frac{1}{2f_2}\frac{df_2}{dx_1}, & \Gamma^4_{14} &= -\frac{1}{2f_4}\frac{df_4}{dx_1}; \end{aligned} \quad (12)$$

alle übrigen Komponenten verschwinden. Wir vereinfachen die Berechnung dieser Ausdrücke noch dadurch, daß wir uns auf den Äquatorialschnitt des Raumes beschränken:

$$x_2 = 0, \quad (13)$$

was mit Rücksicht auf die Kugelsymmetrie desselben ohne weiteres gestattet ist. In diesem Falle wird noch

$$\Gamma^2_{22} = \Gamma^2_{33} = \Gamma^3_{23} = 0.$$

Setzen wir nun gemäß (11) die für f_1, f_2, f_4 gefundenen Werte ein, so erhalten wir schließlich, da sich jetzt auch

$$\Gamma^1_{44} = \Gamma^4_{14} = 0$$

ergibt, die folgenden allein nicht verschwindenden Komponenten:

$$\begin{aligned} \Gamma^1_{11} &= -\frac{2}{3x_1}, \quad \Gamma^1_{22} = \Gamma^1_{33} = 3x_1; \\ \Gamma^2_{12} &= -\frac{1}{3x_1}; \\ \Gamma^3_{13} &= -\frac{1}{3x_1}; \end{aligned} \quad (14)$$

sonst

$$\Gamma^\lambda_{\mu\nu} = 0.$$

Auch die Größen $g_{\mu\nu}$ und $g^{\mu\nu}$ der Schemata (8) und (9) nehmen für den Äquatorialschnitt eine einfachere Gestalt an:

$$\begin{aligned} &g_{11} = -\frac{1}{(3x_1)^{4/3}}, \; g_{22} = g_{33} = -(3x_1)^{2/3}, \; g_{44} = 1; \\ &g^{11} = -(3x_1)^{4/3}, \; g^{22} = g^{33} = -\frac{1}{(3x_1)^{2/3}}, \; g^{44} = 1; \\ &g_{\mu\nu} = g^{\mu\nu} = 0 \text{ für } \mu \neq \nu. \end{aligned} \quad (15)$$

Die Berechnung der Energiekomponenten t^α_σ gelingt nunmehr ohne Schwierigkeit. Wir haben dabei zwei Fälle zu unterscheiden:

I. $\underline{\sigma = \alpha}$.

$$\begin{aligned} \varkappa t^\alpha_\alpha = \frac{1}{2}\Big[&\sum_{\nu,\beta} g^{\nu\nu}\Gamma^1_{\nu\beta}\Gamma^\beta_{\nu 1} + \\ &+ \sum_{\nu,\beta} g^{\nu\nu}\Gamma^2_{\nu\beta}\Gamma^\beta_{\nu 2} + \\ &+ \sum_{\nu,\beta} g^{\nu\nu}\Gamma^3_{\nu\beta}\Gamma^\beta_{\nu 3} + \\ &+ \sum_{\nu,\beta} g^{\nu\nu}\Gamma^4_{\nu\beta}\Gamma^\beta_{\nu 4}\Big] - \\ &- \sum_{\nu,\beta} g^{\nu\nu}\Gamma^\alpha_{\nu\beta}\Gamma^\beta_{\nu\alpha}. \end{aligned} \quad (16)$$

Die Auswertung der ersten vier Summen ergibt mit Rücksicht auf (14) und (15):

$$\begin{aligned} &\sum_{\nu,\beta} g^{\nu\nu}\Gamma^1_{\nu\beta}\Gamma^\beta_{\nu 1} = \\ &= g^{11}(\Gamma^1_{11})^2 + g^{22}\Gamma^1_{22}\Gamma^2_{12} + g^{33}\Gamma^1_{33}\Gamma^3_{13} = \\ &= -\frac{4}{(3x_1)^{4/3}} + \frac{1}{(3x_1)^{4/3}} + \frac{1}{(3x_1)^{4/3}} = -\frac{2}{(3x_1)^{4/3}}; \\ &\sum_{\nu,\beta} g^{\nu\nu}\Gamma^2_{\nu\beta}\Gamma^\beta_{\nu 2} = \\ &= g^{11}(\Gamma^2_{12})^2 + g^{22}\Gamma^2_{12}\Gamma^1_{22} = \\ &= -\frac{1}{(3x_1)^{4/3}} + \frac{1}{(3x_1)^{4/3}} = 0; \\ &\sum_{\nu,\beta} g^{\nu\nu}\Gamma^3_{\nu\beta}\Gamma^\beta_{\nu 3} = \\ &= g^{11}(\Gamma^3_{13})^2 + g^{33}\Gamma^3_{13}\Gamma^1_{31} = \\ &= -\frac{1}{(3x_1)^{4/3}} + \frac{1}{(3x_1)^{4/3}} = 0; \\ &\sum_{\nu,\beta} g^{\nu\nu}\Gamma^4_{\nu\beta}\Gamma^\beta_{\nu 4} = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Mithin wird

$$\varkappa t_\sigma^\alpha = -\frac{1}{(3x_1)^{2/3}} - \sum_{\nu,\beta} g^{\nu\nu}\,\Gamma_{\nu\beta}^{\alpha}\,\Gamma_{\nu\sigma}^{\beta}, \qquad (18)$$

woraus unmittelbar

$$t_1^1 = +\frac{1}{\varkappa(3x_1)^{2/3}}, \qquad (19)$$

$$t_2^2 = t_3^3 = t_4^4 = -\frac{1}{\varkappa(3x_1)^{2/3}}$$

folgt.

II. $\sigma \neq \alpha$.

$$\varkappa t_\sigma^\alpha = -\sum_{\nu,\beta} g^{\nu\nu}\,\Gamma_{\nu\beta}^{\alpha}\,\Gamma_{\nu\sigma}^{\beta}. \qquad (20)$$

Man überzeugt sich leicht im Hinblick auf (14), daß sämtliche Komponenten verschwinden:

$$t_\sigma^\alpha = 0 \text{ für } \sigma \neq \alpha. \qquad (21)$$

Zusammenfassend erhalten wir im Falle des von gravitierender Materie freien Raumes das folgende Schema der Energiekomponenten, wenn wir zugleich wieder gemäß (6) zu den ursprünglichen gewöhnlichen Polarkoordinaten zurückkehren:

$$\begin{matrix} +\frac{1}{\varkappa r^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\varkappa r^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\varkappa r^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\varkappa r^2} \end{matrix}. \qquad (22)$$

Die obige Rechnung läßt sich analog auch für die Umgebung einer ruhenden, inkompressiblen, gravitierenden Flüssigkeitskugel sowie für das Gravitationsfeld eines Massenpunktes durchführen, wenn man für die Größen f_1, f_2, f_4 an Stelle der unter (11) angegebenen Werte die folgenden[1]) einsetzt:

$$f_1 = \frac{1}{R^3(R-a)}, \quad f_2 = R^2, \quad f_4 = 1 - \frac{a}{R}, \qquad (23)$$

wo

$$R = (3x_1 + \varrho)^{1/3} \qquad (24)$$

ist und die Integrationskonstanten a[2]) und ϱ von der Dichte und dem Radius der Flüssigkeitskugel abhängen. Im Falle des Massenpunktes ist

$$\varrho = a^3 \qquad (25)$$

zu setzen und es wird

$$a = \frac{2k^2M}{c^2}, \qquad (26)$$

wobei M die Punktmasse, k^2 die Gaußsche Gravitationskonstante und c die Lichtgeschwindigkeit bedeuten. Für die Energiekomponenten ergeben sich dann die Werte:

$$\begin{matrix} +\frac{1}{\varkappa R^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\varkappa R^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{\varkappa R^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\varkappa R^2} \end{matrix}. \qquad (27)$$

E. Schrödinger findet l. c. im gleichen Falle, daß sämtliche Energiekomponenten verschwinden. Hierbei ist jedoch hervorzuheben, daß das teilweise Nichtverschwinden derselben, wie es die obigen Ausführungen ergaben, nichts mit dem Vorhandensein eines Gravitationsfeldes zu tun hat, sondern lediglich der Wahl des Koordinatensystems zuzuschreiben ist, das sich von dem Kartesischen, welches Schrödinger verwendet, unterscheidet. Da die Größen t_σ^α keine Tensoren sind, kann ein derartiges Verhalten derselben auch nicht überraschen.

Zusammenfassung.

Abschließend können wir also feststellen, daß die „Energiekomponenten“ t_σ^α nicht mit dem Vorhandensein eines Gravitationsfeldes in Zusammenhang stehen, sondern nur von der Koordinatenwahl abhängen: sie können bei vorhandenem Felde verschwinden, wie Schrödinger l. c. gezeigt hat, und bei nicht vorhandenem Felde nicht verschwinden, wie aus der obigen Untersuchung hervorgeht. Ihre physikalische Bedeutung erscheint somit mehr als zweifelhaft[1]).

Wien, Physikalisches Laboratorium der k. k. Technischen Hochschule.

(Eingegangen 2. März 1918.)

Bemerkung zu Herrn Schrödingers Notiz „Über ein Lösungssystem der allgemein kovarianten Gravitationsgleichungen“.

Von A. Einstein.

Die von Herrn Schrödinger angegebene[1]) Variante zu meiner Darstellung für das kosmische

1) K. Schwarzschild, Berl. Ber. 1916, l. c. u. S. 424.

2) Bei Schwarzschild mit α bezeichnet.

1) Anmerkung bei der Korrektur am 19. März 1918: Mittlerweile ist zu diesem Gegenstande eine Äußerung A. Einsteins erschienen: diese Zeitschr. 19, 115, 1918.

1) Diese Zeitschr. 19, 20—22, 1918.

Gravitationsfeld hatte auch ich als die am nächsten liegende Möglichkeit bei Abfassung meiner Arbeit natürlich in Betracht gezogen. Aber ich muß gestehen, daß mir diese mögliche Auffassung einer Erwähnung nicht wert erschien.

In der Sprache der Newtonschen Theorie kann das zu lösende Problem etwa so formuliert werden. Eine räumlich geschlossene Welt ist nur dann denkbar, wenn die Kraftlinien der Gravitation, welche in den ponderabeln Körpern (Sternen) endigen, im leeren Raume anfangen. Es bedarf also einer Modifikation der Theorie, in welcher der „leere Raum" die Rolle einer über die interstellaren Räume verteilten negativen gravitierenden Masse übernimmt. Herr Schrödinger nimmt nun die Existenz von Materie mit negativer Massendichte an und repräsentiert sie durch den Skalar p. Dieser Skalar p hat mit dem im Innern der ponderabeln Massen vorhandenen Druck der „wirklichen", d. h. der wahrnehmbaren, in den Sternen kondensierten Materie von der Dichte ϱ nichts zu tun; ϱ verschwindet in den interstellaren Räumen, nicht aber p.

Über das Gesetz, nach welchem p als Funktion der Koordinaten bestimmt sein soll, schweigt der Autor; wir wollen nur zwei Möglichkeiten ins Auge fassen:

1. p ist eine universelle Konstante. In diesem Falle stimmt Herrn Schrödingers Ansatz genau mit dem meinigen überein. Um dies zu sehen, braucht man nur statt p den Buchstaben λ zu setzen und das betreffende Glied auf die linke Seite der Feldgleichungen zu bringen. Diesen Fall kann der Autor also nicht im Auge gehabt haben.
2. p ist veränderlich. Dann bedarf es einer Differentialgleichung, welche p als Funktion von $x_1 \ldots x_4$ bestimmt. Man hat also nicht nur die Hypothese von der Existenz einer nicht beobachteten negativen materiellen Dichte in den interstellaren Räumen zugrunde gelegt, sondern auch noch ein hypothetisches Gesetz für die räumlich-zeitliche Verteilung dieser Massendichte zu postulieren.

Der von Herrn Schrödinger eingeschlagene Weg scheint mir nicht gangbar, weil er zu tief ins Gestrüpp der Hypothesen hineinführt.

(Eingegangen 3. März 1918.)

Bemerkungen zu den statistischen Grundlagen der Quantentheorie.

Von Ludwig Flamm.

Im Anschluß an eine Idee von Einstein[1]) konnte der Verfasser die Quantentheorie in besonders einfacher und konsequenter Weise[2]) entwickeln, indem er von der folgenden Grundvoraussetzung ausging: Die gleichartigen Elementarbestandteile (Moleküle, Atome) eines Körpers nehmen in diskontinuierlicher Weise nur eine diskrete Reihe bestimmter Zustände $Z_1, Z_2, Z_3, \ldots$ an, wobei ihnen die zugehörigen Energiewerte $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \ldots$ zukommen. Die quantenhafte Abgabe und Aufnahme der Energie von seiten eines solchen Körpers ergibt sich daraus als eine unmittelbare Folgerung. Auf Grund statistischer Überlegungen ließ sich dann das thermodynamische Verhalten eines derartigen Körpers ohne weiteres ableiten. Man kommt für die derzeit behandelten Fälle zu den richtigen Endformeln, wenn man die möglichen Zustände Z_n alle als untereinander gleichwahrscheinlich betrachtet. Die allgemeinen Formeln für die thermodynamisch wichtigen Funktionen lassen sich aber ganz ebenso einfach ohne diese Voraussetzung berechnen, wie im folgenden gezeigt werden soll.

Die Grundlage der statistischen Überlegungen bildet wie bei Planck[3]) das Boltzmannsche Prinzip, wonach die Entropie S eines Körpers aus der Wahrscheinlichkeit W seines Zustandes nach der Formel

$$S = k \ln W \qquad (1)$$

sich berechnet. Die Konstante k ist universell und ergibt sich numerisch aus der allgemeinen Gaskonstante durch Division mit der molaren Loschmidtschen Zahl[4]). Es kommt nunmehr bloß auf die Berechnung der Wahrscheinlichkeit dafür an, daß in einem bestimmten Augenblick von den N gleichartigen Elementarbestandteilen des betrachteten Körpers gerade die Anzahlen $N_1, N_2, N_3, \ldots$ bzw. die Zustände $Z_1, Z_2, Z_3, \ldots$ besitzen, wobei

$$N_1 + N_2 + N_3 + \ldots = \Sigma N_n = N \qquad (2)$$

ist. Schreibt man für den einzelnen aus der Gesamtheit herausgegriffenen Elementarbestandteil den Zuständen $Z_1, Z_2, Z_3, \ldots$ die bezüglichen Wahrscheinlichkeiten $a_1, a_2, a_3, \ldots$ zu, so berechnet sich für den betrachteten Körper die gesuchte Wahrscheinlichkeit zu

1) Verh. d. D. Phys. Ges. **18**, 318, 1916.
2) Zum gegenwärtigen Stand der Quantentheorie; diese Zeitschr. **19**, 116—128, 1918.
3) Theorie der Wärmestrahlung, 2. Aufl., S. 117, Leipzig 1913.
4) Flamm, diese Zeitschr. **18**, 519, 1917.

$$W = \frac{N!}{\Pi(N_n!)} \Pi a_n^{N_n};$$

daraus folgt

$$\ln W = \ln(N!) - \Sigma \ln(N_n!) + \Sigma N_n \ln a_n. \quad (3)$$

Da N und auch die in Betracht kommenden N_n im allgemeinen sehr große Zahlen bedeuten, genügt es, die Stirlingsche Formel in der abgekürzten Gestalt

$$\ln(n!) = n \ln n - n$$

zu verwenden. Unter Beachtung von (2) vereinfacht sich (3) dadurch zu

$$\ln W = \Sigma N_n \ln \frac{N a_n}{N_n}.$$

Führt man noch die übliche Bezeichnung

$$\frac{N_n}{N} = w_n$$

ein, in welcher die Bedingung (2) sich

$$\Sigma w_n = 1 \quad (2')$$

schreibt, so erhält man schließlich nach Formel (1)

$$S = Nk \Sigma w_n \ln \frac{a_n}{w_n} \quad (4)$$

als Ausdruck für die Entropie des Körpers in ihrer Abhängigkeit von der gegebenen Zustandsverteilung der Elementarbestandteile. Setzt man alle a_n gleich 1, so nimmt diese Formel die bekannte Form[1]) an.

Die weitere Rechnung erfolgt auf die übliche Weise. Man betrachtet den Körper als abgeschlossen, so daß er neben der bestimmten Zahl von Elementarbestandteilen auch eine vorgegebene Energie

$$E = N \Sigma \varepsilon_n w_n \quad (5)$$

besitzt. Für den Fall thermodynamischen Gleichgewichts muß die Variation der Entropie nach Gleichung (4) verschwinden unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen (2′) und (5). Dies führt auf eine Verteilung nach der Formel

$$w_n = \alpha a_n e^{-\beta \varepsilon_n}, \quad (6)$$

deren Konstanten α und β die beiden Nebenbedingungen

$$\alpha \Sigma a_n e^{-\beta \varepsilon_n} = 1 \quad (6a)$$

$$\alpha N \Sigma a_n \varepsilon_n e^{-\beta \varepsilon_n} = E \quad (6b)$$

befriedigen müssen. Dadurch reduziert sich die Gleichung (4) für diesen ausgezeichneten Wert der Entropie auf

$$S = k(\beta E - N \ln \alpha). \quad (7)$$

Der zweite Hauptsatz führt darauf angewendet die Größe β auf die absolute Temperatur T zurück durch die Beziehung

$$\beta = \frac{1}{kT}. \quad (8)$$

Die Formel (6) für die Zustandsverteilung im Falle thermodynamischen Gleichgewichts lautet somit schließlich

$$w_n = \alpha a_n e^{-\frac{\varepsilon_n}{kT}}. \quad (6')$$

Diese Formel benutzt Einstein[1]) als Ausgangspunkt zu einer neuartigen Ableitung für die Energiedichte der Hohlraumstrahlung, wobei er die Abkürzung

$$p_n = \alpha a_n$$

gebraucht und als das statistische „Gewicht" des Zustandes Z_n bezeichnet.

Für die Entropie des Körpers bei der bestimmten absoluten Temperatur T folgt nach (7) und (8)

$$S = \frac{E}{T} + \Psi, \quad (9)$$

wobei die Bezeichnung

$$\Psi = -Nk \ln \alpha$$

eingeführt wurde. Vermöge der Gleichung (6a) mit Rücksicht auf (8) erhält man für diesen Ausdruck weiter

$$\Psi = Nk \ln \Sigma a_n e^{-\frac{\varepsilon_n}{kT}}. \quad (10)$$

Die Größe Ψ ist wieder nichts anderes als die „charakteristische Funktion" des Körpers, aus der sich nach den bekannten Formeln[2]) Energie, Entropie und spezifische Wärme bei konstantem Volumen ohne weiteres berechnen lassen. Die Größe α hängt in einfacher Weise direkt mit der „charakteristischen Funktion" zusammen, wie die vorletzte Gleichung erkennen läßt.

Die Kenntnis des thermodynamischen Verhaltens des Körpers ist somit auch in diesem verallgemeinerten Falle auf die Berechnung der „charakteristischen Funktion" zurückgeführt, welche durch Gleichung (10) gegeben ist. Hierzu ist also noch die Verwendung der Wahrscheinlichkeiten a_n für die Einzelzustände Z_n der Elementarbestandteile erforderlich. Diese dürften wohl in engem Zusammenhange stehen mit den Wahrscheinlichkeiten des Überganges aus dem einen Zustande in die anderen Zustände, welche in neuester Zeit Interesse erregt haben. Bisher jedenfalls aber sind unsere diesbezüglichen Kenntnisse noch recht mangelhaft.

1) Zum gegenw. Stand der Quantentheorie, l. c. S. 117.

1) l. c. S. 320.
2) Zum gegenw. Stand der Quantentheorie, l. c. S. 118.

Zusammenfassung.

Die quantentheoretischen Grundformeln zur Berechnung der Energie, Entropie und spezifischen Wärme eines Körpers bei konstantem Volumen werden auf Grund einer geringsten Zahl spezieller Voraussetzungen in möglichst allgemeiner Weise entwickelt.

Wien, Physikalisches Laboratorium der k. k. Technischen Hochschule.

(Eingegangen 5. Februar 1918.)

Vorlesungsverzeichnis für das Sommersemester 1918.

Technische Hochschule Aachen.

Starke: Experimentalphysik II, 4; Übungen im physikalischen Laboratorium: a) Praktikum, b) Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl. — **Seitz**: Theoretische Physik, 2; Experimentalphysik, enzyklopädischer Kurs, 2. — **Steubing**: Photographie I und II, 1, Übungen, 3; Theorie der Wärmestrahlung, 1. — **Polis**: Klimatologie, 2; Ausgewählte Kapitel der Meteorologie, 1; Meteorologische Technik, 1, Übungen, 2—4. — **Schreber**: Technische Thermodynamik, 2; Besprechungen neuerer Arbeiten auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen, 1. — **Grotrian**: Allgemeine Elektrotechnik, 5; Theoretische Elektrotechnik, 2; Elektrotechnisches Praktikum, für Elektroingenieure, 8, für Maschineningenieure, 5. — **N. N.**: Ausgewählte Kapitel der praktischen Elektrotechnik, 1; Einleitung in die Elektrotechnik, 2; Konstruktionslehre der Elektrotechnik, 3; Elektrotechnische Konstruktionsübungen, 2. — **Finzi**: Elektrische Zentralanlagen und Leitungen, 2, Übungen, 2; Elektromotorische Antriebe in Berg- und Hüttenwerken, 2. —

Bredt: Organische Experimentalchemie I, 4; Allgemeine Übersicht über die organische Chemie, 2; Organisches Praktikum, tägl. — **Classen**: Allgemeine und anorganische Experimentalchemie, 4; Anorganisches Praktikum für Chemiker, Hüttenleute und Bergleute, tägl. außer Sonnabend; Elektroanalytisches und elektrochemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend. — **Rau**: Chemische Technologie II, 2, IV, 2; Entwerfen von chemischen Apparaten und Fabrikanlagen, 4; Chemisch-technisches Praktikum, tägl., für Bergleute, Halbpraktikum, 12. — **Ruer**: Physikalische Chemie II, 2; Ausgewählte Kapitel der physikalischen Chemie, 1; Übungen in physikalischer Chemie für Hüttenleute, 3, für Chemiker, 1 Vormittag, für Fortgeschrittene, ganz- und halbtägig, tägl. außer Sonnabend; Allgemeines hüttenmännisches Praktikum, 3. — **v. Kapff**: Chemische Technologie der Gespinstfasern: Färberei, Bleicherei usw., 2, Übungen, 4. —

Blumenthal: Höhere Mathematik III, 3; Elemente der Differential- und Integralrechnung, 5, Übungen, 1. — **Hamel**: Höhere Mathematik I, 6, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel der Mathematik, 2 *g*. — **v. Kármán**: Mechanik I, 4, Übungen, 1, II, 3, Übungen, 1; Flugtechnische Aerodynamik, 2 *g*. — **Kötter**: Darstellende Geometrie II, 2, Übungen, 2; Elemente der darstellenden Geometrie, 2, Übungen, 2. — **Trefftz**: Praxis der Differentialgleichungen, 2. — **Wilski**: Markscheiden und Feldmessen II, 3, Übungen, 1 Tag; Abriß der Markscheide- und Feldmeßkunde, 2. — **Wandhoff**: Markscheiden und Feldmessen II, 3, Übungen, 1 Tag; Markscheiderische Zeichen- und Rechenübungen, 2. — **Gast**: Praktische Geometrie I, 2, II, 1; Geodätisches Praktikum I, 1 Tag, II, 4; Geodätische Ausarbeitungen, 4; Geographische Ortsbestimmung, 2, Übungen, 2; Höhere Geodäsie, 2. —

Universität Basel.

Hagenbach: Experimentalphysik I, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, ganztägig, für Anfänger (mit Veillon und Zickendraht), 8; Probleme der modernen Physik in elementarer Darstellung, 1; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2 *g*. — **Veillon**: Elektrische Messungen, mit Demonstrationen, 2. — **Matthies**: Wärmetheorie, 4, Übungen, 1 *g*; Theorie der physikalischen Meßinstrumente und der Ausgleichung von Beobachtungen, 2; Mathematisch-physikalisches Seminar, 2 *g*. — **Zickendraht**: Hochfrequenzpraktikum, Anleitung zu Experimenten über elektromagnetische Schwingungen, 3; Repetitorium der Elektrizitätslehre, 1. —

Rupe: Die Methoden der organischen Synthese, $2^1/_2$; Chemisches Vollpraktikum: Organische Chemie, tägl.; Chemisches Kolloquium (mit Fichter und Bernoulli), 1 *g*. — **Fichter**: Anorganische Experimentalchemie, 6; Analytisches Halbpraktikum für Anfänger (für Mediziner: Übungen in der qualitativen Analyse), 9; Chemisches Vollpraktikum: Anorganische und elektrochemische Übungen und Arbeiten, tägl. — **Bernoulli**: Allgemeine physikalische Chemie, 2; Thermochemische und elektrochemische Übungen, 2; Physikalisch-chemische Übungen und Arbeiten, tägl. — **Zörnig**: Pharmakognosie, 3; Mikroskopische Untersuchung von Arzneidrogen bez. Nahrungs- und Genußmitteln I und III, 3; Mikroskopische Untersuchung der Drogenpulver I und III, 2; Pharmazeutische Chemie und chemische Toxikologie, 4; Harnanalyse, 1; Pharmazeutisch-chemisches Praktikum, tägl.; Pharmakognostische Übungen für Fortgeschrittenere, tägl.; Kolloquium, 1. — **Kreis**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel I, 2; Übungen in der Untersuchung von Lebensmitteln, 4; Arbeiten im Laboratorium für angewandte Chemie, tägl. —

Heckt: Differential- und Integralrechnung II, 4, Übungen, 1; Einführung in die höhere Geometrie, 2; Theorie der algebraischen Zahlen, 2, Seminar, für Fortgeschrittene (mit Spieß), 1 *g*. — **Spieß**: Elementargeometrie (vom höheren Standpunkt), 3; Wahrscheinlichkeitsrechnung, 4. — **Flatt**: Pädagogisches Seminar, mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung II, 2; Repetitorium der Algebra, 2; Geschichte und Methodik der Leibesübungen, 1. — **Knapp**: Stellar-Astronomie, 2; Astronomisches und geodätisches Messen für Anfänger, 2; Meteorologie, 1; Astronomisches Praktikum für Vorgerücktere, 3; Astronomische Übungen für Anfänger, 2. —

Universität Berlin.

Rubens: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärmelehre, 5, Mathematische Ergänzungen, 1 *g*; Physikalisches Kolloquium, $1^1/_2$ *g*; Arbeiten im Physikalischen Laboratorium, für Geübtere (mit Wehnelt), tägl. — **Planck**: System der theoretischen Physik, 4; Mathematisch-physikalische Übungen, 1 *g*. — **Wehnelt**: Mathematische Ergänzungen zum physikalischen Praktikum, 1 *g*; Praktische Übungen für Anfänger I und II (mit Blasius), 7; Physikalisches Praktikum für Pharmazeuten, 3; Praktikum zur Erlangung von Handfertigkeit für das physikalische Arbeiten, 3. — **Hellmann**: Theoretische Meteorologie, 1; Meteorologisches Kolloquium, 1 *g*. — **Warburg**: Wärmeleitung und andere ausgleichende Vorgänge, 2. — **Ad. Schmidt**: Gezeiten und Meeresströmungen, 2; Kollektivmaßlehre, 1 *g*. — **Neesen**: Atmosphärische Elektrizität, Blitzableiter, 2. — **Blasius**: Übungen im Anschluß an das Praktikum, 1 *g*. — **E. Meyer**: Ausgewählte Kapitel der technischen Mechanik, 2. — **Born**: Atomistik, 1 *g*; Dynamik der Kristallgitter, 3. — **Krigar-Menzel**: Theorie des Lichtes, 4. — **Less**: Praktische Wetter- und Klimakunde, 1; Über die jeweiligen Witterungsvorgänge, 1 *g*. — **Byk**: Absolutes Maßsystem und physikalischer Dimensionsbegriff, 1. — **Henning**: Einführung in die Vektorenanalysis, 1. — **Reiche**: Potentialtheorie mit Anwendungen in verschiedenen Gebieten der Physik, $2^1/_2$. — **Seeliger**: Grundlagen der

Hydrodynamik, 1. — **Scheffer**: Angewandte wissenschaftliche Photographie, 1; Wissenschaftliche Grundlagen der Mikroskopie, 1. —

Fischer: Praktische Arbeiten im chemischen Universitätslaboratorium (mit Gabriel, Traube, Leuchs, Schoeller), tägl.; Kursus für Mediziner und Zahnärzte, 3. — **Nernst**: Anorganische Experimentalchemie, 5; Anorganisch-chemisches Praktikum (mit Marckwald), tägl.; Physiko-chemische Arbeiten, tägl.; Physiko-chemisches Kolloquium, 1 *g*. — **Beckmann**: Chemische Untersuchungen im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, tägl. *g*. — **Wichelhaus**: Technologie für Chemiker, anorganische Stoffe, 4; Übungen im Institut (mit Großmann und Houben), tägl.; Anleitung im Institut (mit Großmann und Houben), tägl. — **Gabriel**: Organische Experimentalchemie, 5. — **Thoms**: Pharmazeutische Chemie, organischer Teil, 4; Praktische Übungen und Arbeiten in pharmazeutischer, toxikologischer, physiologischer und Nahrungsmittel-Chemie, tägl.; Nahrungsmitteluntersuchung mit besonderer Bezugnahme auf den Weltkrieg, $1^1/_2$. — **Traube**: Qualitative chemische Analyse, $1^1/_2$. — **Stock**: Anorganisch-chemische Arbeiten, tägl. — **Biedermann**: Explosivstoffe, 2. — **Neuberg**: Arbeiten auf dem Gebiete der Biochemie, tägl.; Organisch-chemische Arbeiten, tägl. — **Pschorr**: Organische Chemie II: Aromatische Reihe, zyklische Verbindungen, Farbstoffe, Alkaloide usw., 4; Praktische Arbeiten im Organischen Laboratorium, tägl. — **Fock**: Physikalische Chemie, 1; Kristallchemie, 1. — **Rosenheim**: Anorganisch-chemisches Praktikum (mit R. J. Meyer), tägl.; Übungen in der Experimentalchemie, besonders für Lehrer und Lehrerinnen (mit R. J. Meyer), 8; Praktische Übungen in der Gas- und Maßanalyse, 4. — **Sachs**: Konstitutionsbestimmungen organischer Verbindungen, 1. — **Jacobson**: Besprechung chemischer Tagesfragen, 1. — **Houben**: Arbeitsmethoden der organischen und unorganischen Chemie, 1. — **Koppel**: Das chemische Gleichgewicht, 1 *g*. — **Spiegel**: Anorganische Chemie, 3. — **Meisenheimer**: Überblick der organischen Experimentalchemie, 3. Ergänzungen, 2; Anorganisch- und organisch-chemisches Praktikum, tägl. — **Großmann**: Warenkunde und Weltwirtschaft, mit Demonstrationen und Exkursionen, 1. — **Leuchs**: Einführung in die organische Chemie II, 1. — **Pringsheim**: Alkoholische Gärung, 1. — **Angelmino**: Arzneimittelgesetzgebung, 1. —

Schwarz: Über den Hauptsatz der projektiven Geometrie, 2 *g*; Mathematisches Seminar (mit Schottky), 2 *g*. — **Foerster**: Geschichte der Astronomie, 2 *g*; Grundlehren der Orts- und Zeitbestimmung, 1 *g*; Polarlicht und Zodiakallicht, 1 *g*. — **Schottky**: Lineare Differentialgleichungen, 4; Probleme der analytischen Mechanik, 2. — **E. Schmidt**: Determinanten, 4; Funktionentheorie II, 4; Mathematisches Seminar, 2 *g*. — **Struve**: Einleitung in die Himmelsmechanik, 3; Übungen an den Instrumenten der Sternwarte, nach Vereinbarung, *g*. — **Cohn**: Bahnbestimmung der Himmelskörper, 4; Seminar für wissenschaftliches Rechnen: Übungen zur Bahnbestimmung, 2 *g*. — **Kohlschütter**: Mathematische Geographie, 1. — **Rothe**: Analytische Geometrie des Raumes und Einführung in die Differentialgeometrie, 4. — **Knopp**: Einführung in die höhere Mathematik, 2; Differential- und Integralrechnung II: Integralrechnung, 4, Übungen, 1 *g*; Algebra II, 4; Mathematisches Proseminar (mit Schur), 14 tägig, 2 *g*. — **Guthnick**: Spektralanalyse der Gestirne, 2. — **Schur**: Differentialrechnung, 4, Übungen, 1 *g*; Elliptische Funktionen, 4. — **Marcuse**: Astronomie in allgemeiner Darstellung, mit Lichtbildern, $1^1/_2$; Geographische Ortsbestimmung auf Land-, See- und Luftreisen, mit Übungen, $1^1/_2$; Neuere Ergebnisse von Naturwissenschaft und Technik, mit Lichtbildern, 1. — **Witt**: Wissenschaftliches Rechnen, 2; Astronomische Übungen, 6 *g*. — **Schweydar**: Kapitel aus der Geophysik, für Geographen und Geologen, 1. —

Technische Hochschule Berlin.

Kurlbaum: Experimentalphysik: Wärme, Optik, 4; Physikalische Übungen, 16. — **Grunmach**: Magnetische und elektrische Maßeinheiten und Meßmethoden, 2; Physikalische Maßbestimmungen und Meßinstrumente (Physikalische Übungen), 10. — **Kalischer**: Die physikalischen Grundlagen der Elektrotechnik I, 2; Elektromagnetismus und Induktion mit besonderer Berücksichtigung der Elektrotechnik, 4; Grundzüge der Elektrochemie, 2. — **Korn**: Ausgewählte Kapitel der Elastizitätstheorie, 2. — **Krigar-Menzel**: Allgemeine Mechanik II: Gleichgewicht und Bewegung von elastischen, festen und flüssigen Körpern, 4; Einführung in die kinetische Gastheorie, 2. — **Berndt**: Luftelektrizität, 1. — **Felgentraeger**: Maß- und Gewichtswesen II, 2; Die Meßinstrumente des Chemikers, 2. — **Gehlhoff**: Elektronentheorie der Metalle, 1. — **Kaehner**: Der Wind nach Entstehung, Messung und Ausnutzung für Hoch- und Hafenbau, See- und Luftschiffahrt, sowie für Windmotorenbau, 1. — **Kock**: Methoden zur Aufnahme von schnell verlaufenden elektrischen und magnetischen Erscheinungen: Oszillographen usw., 2; Meßmethoden der drahtlosen Telegraphie, 2. — **Lichtenstein**: Randwertaufgaben der Potentialtheorie II, 2. — **Möller**: Beleuchtungstechnik, 1. — **Petzoldt**: Die Relativitätstheorie, 1 *g*. — **Pirani**: Anwendungen der graphischen Darstellung und des graphischen Rechnens auf physikalische Fragen, 1. — **Orlich**: Theoretische Elektrotechnik I, 2, Übungen, 1; Elektrotechnische Meßkunde I und II, 2; Elektrotechnisches Laboratorium I, II und III, 4; Elektrotechnisches Laboratorium für Fortgeschrittene, tägl. — **Wedding**: Elektromaschinenbau I und II, 2; Beleuchtungstechnik, 2; Beleuchtungstechnisches Laboratorium, 3, für Fortgeschrittene, tägl.; Elektrotechnik für Bergleute, 2, Übungen, 1. — **Franke**: Elektrische Fernmeldetechnik einschließlich drahtlose Telegraphie II: Anlagen, 4, Übungen, 1; Entwerfen von Instrumenten und Apparaten der Meß- und Fernmeldetechnik, Übungen, 2; Entwerfen von Anlagen der Fernmeldetechnik, Übungen, 2; Laboratorium für Fernmeldetechnik, 6, für Fortgeschrittene, tägl. — **Kloß**: Elektromaschinenbau I, 4, Übungen, 1, III, 2; Entwerfen elektrischer Maschinen I, Übungen, 4, III, Übungen, 8; Elektrotechnisches Versuchsfeld, 4, für Fortgeschrittene, tägl. — **v. Parseval**: Flugzeuge, 2. — **W. Reichel**: Elektrische Kraftanlagen und Bahnen II, 2; Entwerfen elektrischer Kraftanlagen und Bahnen, 4. — **Becker**: Flugmotoren und Luftschiffmotoren, 2. — **Benischke**: Allgemeine Wechselstromtechnik, 4. — **Breslauer**: Berechnung und Prüfung elektrischer Maschinen nach den in der Praxis herrschenden Gepflogenheiten, 2. — **Everling**: Mechanik des Frei- und Lenkballons, 1. — **Fambender**: Elektrische Messungen und Meßmethoden in Hochfrequenzkreisen und ihre praktische Anwendung in der drahtlosen Telegraphie, 2; Demonstrationen im Laboratorium, Übungen, 14 tägig, 2; Technische Grundlagen der Elektromedizin, mit Demonstrationen, 2. — **Philippi**: Über elektrisches Förder- und Signalwesen. — **Rüdenberg**: Selbstinduktion und Streuung in elektrischen Maschinen, 2. — **Wagner**: Ausgewählte Kapitel aus der Hochspannungstechnik, 2. — **Zehme**: Elektrische Stadtschnellbahnen und Vorortsbahnen, 2. — **Krell**: Schiffselektrotechnik, 2. — **Dietzius**: Luftschiffbau und Luftschiffahrt, 1. — **Schaffran**: Luft- und Wasserpropeller-Versuche, 1. — **Günther**: Anwendung der Photographie zum Messen in der Technik: Photogrammetrie mit Lichtbildern und Demonstrationen, 2. —

Hofmann: Experimentalchemie, 4; Experimentalchemie: Chemie der Metalle mit Einführung, 4; Gasanalyse, 2. — **Dolezalek**: Angewandte Elektrochemie, 2; Kleines physikalisch-chemisches und elektrochemisches Praktikum, 2 halbe Tage; Praktische Arbeiten im physikalisch-chemischen und elektrochemischen Institut, tägl. — **Holde**: Untersuchung der Kohlenwasserstofföle und verwandte Produkte: Schmieröle, Treiböle, Leuchtöle, Paraffin, Ceresin, Asphalt usw., 2. — **Juckenack**: Chemie der Nahrungsmittel mit Berücksichtigung der Nahrungs-

mittelanalyse und Bakteriologie, 4; Chemisch-technische Analyse, 2. — **Miethe**: Spektralanalyse, mit Übungen, 2; Photochemie und photomechanische Prozesse, 2; Konstruktionstypen photographisch-optischer Instrumente, 1; Praktische Arbeiten im photochemischen Laboratorium, speziell für Photochemiker, tägl.; Photographische Übungen in den gebräuchlichen Prozessen, 16. — **Pschorr**: Organische Chemie II: Aromatische Reihe, zyklische Verbindungen, Farbstoffe, Alkaloide usw., 4; Praktische Arbeiten im organischen Laboratorium, tägl. — **Reisenegger**: Chemische Technologie II: Organische Verbindungen, Faserstoffe, Papier, Leder, Fette, Öle, Seifen, Farbstoffe, Beleuchtung, Trockene Destillation, Gasbereitung, Kokerei, Teerdestillation, Holzschwelerei, Braunkohle, Erdöl, mit Exkursionen, 4; Praktische Arbeiten im technisch-chemischen Institut, tägl. — **Traube**: Thermochemie, 2; Physikalisch-chemische Übungen, 3; Physikalische Chemie und Beziehung zur Biologie, 1. — **Stavenhagen**: Anorganische Experimentalchemie, für Bergleute, 4; Praktische Arbeiten im Chemischen Laboratorium der Bergbau-Abteilung, tägl.; Einführung in die Experimentalchemie, 2. — **Wölbling**: Analytische Chemie, für Bergleute, 2; Chemisches Kolloquium, für Bergleute, 1. — **Arndt**: Anwendungen der physikalischen Chemie auf technische Vorgänge, 1. — **Börnstein**: Verbrennung und Heizung, 1. — **Bucherer**: Die Grundzüge der Färberei und Druckerei, 1. — **Byk**: Chemie der photographischen Prozesse, 1. — **Endell**: Ausgewählte Kapitel der Mineralchemie nebst technischen Anwendungen, 1. — **v. Girsewald**: Praktische Kalorimetrie, mit Übungen, 2. — **Grüttner**: Stereochemie anorganischer Verbindungen II, 1. — **Guertler**: Metallographie II, spezielle Konstitutionslehre, Messing-, Bronze-, Kupfer-, Aluminium-, Zink- usw. Legierungen, 2. — **Hanemann**: Ausgewählte Abschnitte aus der Metallographie, 1. — **Herrmann**: Radioaktive Prozesse, 1. — **Just**: Chemische Elektronenlehre, 1. — **Lehmann**: Die Farbenphotographie, 1. — **Liebermann**: Methoden zur Konstitutionsbestimmung organischer Verbindungen, 1. — **Loewenherz**: Erläuternde Vorträge zu den Führungen durch das Chemische Museum, organischer Teil, 1 *g*; Die Produkte der chemischen Industrie, ausgewählte Kapitel, im Anschluß an die Sammlungen des Chemischen Museums, organischer Teil, 1 *g*. — **Schaarschmidt**: Die Rohprodukte der Teerfarbenindustrie, 2; Färberkursus, Übungen, 4. — **Scheibler**: Über heterozyklische Verbindungen, 1. — **Seegert**: Spektroskopische Untersuchungsmethoden, 1. — **Simonis**: Organische Analyse und Arbeitsmethoden, 2. — **Ullmann**: Arbeitsmethoden der Farbenindustrie, 1. — **Voswinckel**: Terpene und Kampfer, 1. — **Wirth**: Analytische Chemie, 1. — **Wolffenstein**: Die neueren Arzneimittel und ihre Fabrikation, 2. —

Scheffers: Darstellende Geometrie II, 5, Übungen, 5. — **Dziobek**: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2. — **Hentzschel**: Elemente der Mechanik, 4. — **Jolles**: Darstellende Geometrie II, 4, Übungen, 4. — **Lampe**: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2; Bestimmte Integrale und Differentialgleichungen, 2. — **Rothe**: Höhere Mathematik: Differential- und Integralrechnung, Analytische Geometrie, 6, Übungen, 2; Differentialgleichungen, 2. — **Wallenberg**: Ausgewählte Kapitel der Elementarmathematik, 2; Funktionentheorie II, 2; Variationsrechnung, 2. — **Schuberg**: Mechanische Technologie, für Chemiker, 2; Maschinenelemente, mit Übungen im Maschinenzeichnen, für Chemiker, 1, Übungen, 3; Baukonstruktionslehre, 2, Übungen, 4; Die technischen Einrichtungen chemischer Fabriken I, 1, Übungen, 3. — **Jahnke**: Analytische Geometrie und algebraische Analysis, für Bergleute, 3; Höhere Mathematik und technische Mechanik I und II, 7, Übungen, 2; Ausgleichungsrechnung, für Bergleute, 4. — **Haußmann**: Vermessungskunde II und Meßübungen II, 4, Übungen, 4; Planzeichnen zugleich Bearbeitung der Aufnahmen, nach Vereinbarung. — **Reißner**: Mechanik und graphische Statik I, 4, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel der Mechanik, 2 *g*. — **Wolff**: Niedere Geodäsie im Abriß, Aufnahme und Bearbeitung eines Höhen- und Lageplanes, 1, Übungen, 1 Nachmittag. — **W. Hartmann**: Kinematische Geometrie und theoretische Kinematik, 2; Maschinengetriebe: Anwendungen der Kinematik, 2. — **E. Meyer**: Mechanik I, 4, Übungen und Festigkeits-Laboratorium, 3; Ausgewählte Kapitel der Technischen Mechanik, 2. — **Jacobsthal**: Mathematischer Kursus für Kriegsteilnehmer, 2. —

Universität Bern.

Forster: Experimentalphysik I: Allgemeine Physik, Akustik, Optik, 6; Wärmelehre (Schluß), 1 *g*; Theoretisch-praktischer Kurs der Photographie, 2; Repetitorium der Physik, 2; Physikalisches Praktikum, 4; Arbeiten im physikalischen Institut für Vorgerückte, nach Vereinbarung. — **Gruner**: Thermodynamik, mit Übungen, 4; Geometrische Optik, 2; Elektronentheorie bewegter Körper: Relativitätstheorie, 2; Seminar für theoretische Physik, nach Vereinbarung. — **Blattner**: Theorie der Wechselströme (Fortsetzung); Lösung von Aufgaben aus dem Gebiete der Elektrotechnik. — **Luterbacher**: Meteorologie, 1; Mechanik, 1. — **Koestler**: Wissenschaftliche Grundlagen der Elektrotechnik, 1–2; Statik starrer und nachgiebiger Körper, 1–2; Graphische Statik, 1–2. —

Kohlschütter: Spezielle Chemie und Elektrochemie der nichtmetallischen Elemente, 3; Kolloidchemie, 1; Kolloquium über anorganische Chemie, nach Vereinbarung; Anorganisch-chemisches Praktikum, tägl.; Chemisches Praktikum für Mediziner, 4. — **Ephraim**: Analytische Chemie, 3; Theoretische Elektrochemie, 2; Gasanalytisches Praktikum, 3. — **Mai**: Repetitorium der anorganischen Chemie für Mediziner und Lehramtskandidaten, 2. — **Tambor**: Organische Chemie I, 6, Repetitorium, 1; Organisch-chemisches Vollpraktikum, tägl. — **Frl. Woker**: Arbeiten im Laboratorium für physikalisch-chemische Biologie, ganz- oder halbtägig; Kurs für die Untersuchung der Körperflüssigkeiten: Harn, Blut, Magensaft, Milch, 4; Physikalisch-chemische Biologie, 2; Die Wirkungen der Fermente in Theorie und Praxis, 1, Übungen, 1; Immunochemie, 2. — **Abelin**: Die chemischen Grundlagen der Wirkung von organischen Stoffen auf den menschlichen und tierischen Körper, 1. — **Schaffer**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel II, 2. — Chemische Technologie der Lebensmittelgewerbe, nach Vereinbarung. —

Graf: Kugelfunktionen II, mit Repetitorium, 4; Besselsche Funktionen I, mit Repetitorium, 4; Integralrechnung, mit Repetitorium (eventl.: Differential- und Integralrechnung), 3; Funktionentheorie II, 2; Differentialgleichungen I, 2; Renten- und Versicherungsrechnung, 2, Mathematisches Seminar (mit Huber), 1½. — **Huber**: Bahnbestimmung der Planeten und Kometen, 2; Theorie der Raumkurven und abwickelbaren Flächen, 3; Theorie und Anwendung der elliptischen Integrale, 2; Mathematisches Seminar, geometrische Richtung (mit Graf), 1. — **N. N.**: Algebraische Analysis I, 2; Differentialrechnung, 2; Analytische Geometrie I, 2; Elemente der darstellenden Geometrie, 4; Goniometrie und ebene Trigonometrie, 2; Mathematische Übungen, 1. — **Crelier**: Synthetische Geometrie: Einleitung, 2, Übungen, 1; Mehrdimensionale Geometrie, 2. — **Berliner**: Elemente der Zahlentheorie, 1—2; Theorie der algebraischen Gleichungen (elementare Behandlung), 1. — **Huber**: Differentialgeometrie der Kurven, 2. — **Mauderli**: Unterrichtsfragen aus dem Gebiete der Astronomie und der mathematischen Geographie II, 1, Übungen, nach Vereinbarung; Astronomische und topographische Ortsbestimmung für Geologen und Forschungsreisende II, mit Übungen; Die Probleme der modernen Astronomie, 1–2. — **Moser**: Mathematische Grundlagen der Lebensversicherung, nach Vereinbarung; Die Zahl π und das Fehlergesetz, 1–2; Mathematisch-versicherungswissenschaftliches Seminar, 1–2. — **Bohren**: Methode der kleinsten Quadrate, 2; Grundlagen der Sozialversicherung, 2. —

Universität Bonn.

Kayser: Experimentalphysik I: Mechanik, Allgemeine Physik, Wärme, Akustik, 5; Laboratorium für Anfänger, 8, für Vorgeschrittene, tägl. — **Eversheim**: Übungen für Lehramtskandidaten im Experimentalvortrag, mit Handfertigkeitspraktikum, 2; Physikalisches Praktikum für Mediziner, 2; Grundzüge der Elektrotechnik (technische Vorlesung), 1 *g*. — **Pflüger**: Wärmetheorie, 4, Übungen, 1. — **Bucherer**: Neuere Elektrizitätslehre, 1 *g*. —

Anschütz: Experimentalchemie I: Anorganische Chemie, 6; Kolloquium über neuere Arbeiten auf dem Gebiete der Chemie, 1 *g*; Chemisches Praktikum für Anfänger und Vorgeschrittene sowie für Nahrungsmittelchemiker (mit Benrath, Frerichs und Kippenberger), tägl., für Mediziner (mit Benrath), tägl. außer Sonnabend. — **Rimbach**: Physikalische Chemie II: Thermochemie und Elektrochemie, 3; Chemisches Rechenseminar: Unterstufe: Stöchiometrische und chemisch-analytische Aufgaben, 2 *g*; Oberstufe: Physikalisch-chemische Aufgaben, 2 *g*, Übungen in den wichtigsten physikalisch-chemischen Meßmethoden, 3. — **Benrath**: Jakob Berzelius und seine Zeit, 1 *g*; Quantitative Analyse, 2; Übungen in der Gasanalyse, 3 *g*. — **Frerichs**: Toxikologische Analyse, 1; Pharmazeutische Chemie II (organisch), 3, III: Zyklische Verbindungen, 1 *g*. — **Mannheim**: Einführung in das chemische Praktikum, für Pharmazeuten, 1; Sterilisieren von Arzneimitteln, 1. — **Kippenberger**: Grundzüge der Nahrungsmittelchemie, 2; Chemische Technologie, organischer Teil (ausschließlich der Farbstoffchemie), mit Exkursionen, 2; Einführung in die chemische Großtechnik II: Organisch-chemische Betriebe, mit Exkursionen, 1; Besprechung technisch-chemischer Betriebskontrollen, 1 *g*. — **Laar**: Grundlagen der Photographie I: Negativverfahren, 1; Photographische Übungen, tägl. — **Gewecke**: Mikrochemische Analyse, 1; Einführung in das chemische Praktikum, 1. —

Beck: Differential- und Integralrechnung I, 4; Kurven und Flächen zweiter Ordnung, 3; Perspektive und Photogrammetrie, 2; Mathematisches Seminar: Unterstufe: Übungen zur Differentialrechnung, 1 *g*. — **Hahn**: Elementare Zahlentheorie, 4; Mehrfache Integrale und Grundzüge der Potentialtheorie, 4; Mathematisches Seminar: Oberstufe: Besprechung von W. Blaschke: Kreis und Kugel, 14 tägig, 2 *g*. — **Study**: Invariantentheorie, 4, Übungen, 1 *g*. — **Müller**: Einführung in die Geodäsie mit Übungen, 1 *g*. — **Küstner**: Theorie und Praxis der astronomischen Instrumente, 3; Praktische Übungen im astronomischen Beobachten, nach Vereinbarung; Astronomisches Kolloquium, 1 *g*. —

Technische Hochschule Braunschweig.

Diedelhorst: Experimentalphysik: Ausgewählte Kapitel aus der Mechanik, Wärmelehre und Optik, 4; Wechselströme, 3; Physikalisches Praktikum I: Einfache experimentelle Aufgaben aus allen Teilen der Physik, II: Anleitung zu selbständigen Arbeiten im Laboratorium; Physikalisches Kolloquium, 14 tägig, 2 *g*. — **Bergwitz**: Radioaktivität der Erde und der Atmosphäre, 1; Theoretische Telegraphie, 1. — **Witte**: Analytische Mechanik, 4. — **Peukert**: Elektrotechnische Messungen, 2; Allgemeine Elektrotechnik, 4; Grundzüge der Elektrochemie, für Elektrotechniker, 2; Arbeiten im elektrotechnischen Laboratorium, für Fortgeschrittenere, 9. — **N. N.**: Elektromaschinenbau, 4. Übungen, 6; Elektrische Bahnen, 2; Grundzüge der Elektrotechnik, 2. — **Mosler**: Drahtlose Telegraphie, 2; Radiotelegraphisches Praktikum, 3. — **Michaler**: Einführung in die Photographie, 1; Spezielle Photographie, 2; Photographische Übungen, für Anfänger und Fortgeschrittene, 3. —

Meyer: Organische Experimentalchemie, 6; Chemische Technologie der Faserstoffe, 1; Arbeiten im chemischen Laboratorium; Chemisches Kolloquium (mit Freundlich), nach Vereinbarung, *g*. — **Biehringer**: Analytische Chemie für technische Chemiker, 2; Chemisch-technische Rechnungen, 1; Heizstoffe und Kesselspeisewasser, 2, Übungen, 1. — **Freundlich**: Elektrochemie, 2; Chemische Technologie I, 4; Arbeiten im Laboratorium für physikalische Chemie und Elektrochemie. — **Reinke**: Chemische Technologie II, 4; Chemisch-technische Analyse II für Zucker-, Stärke-, Gärungs- und Molkereitechnik, 2; Enzyme, 2; Arbeiten im Laboratorium für chemische Technologie II und landwirtschaftlich-chemische Gewerbe; Seminaristische Übungen auf dem Gebiete der chemischen Technologie II, monatlich 2 *g*. — **Schultze**: Agrikulturchemie, 2. — **Beckurts**: Abwässerreinigung, 1; Wasser- und Harnuntersuchung, 1; Pharmazeutische Chemie, 4; Arbeiten im Laboratorium für pharmazeutische Chemie und Nahrungsmittelchemie. — **Troeger**: Analytische Chemie, 2; Repetitorium der anorganischen und organischen Chemie, 2. — **Emde**: Alkaloide, 1. —

Fricke: Analytische Geometrie und Algebra, 3; Differential- und Integralrechnung I, 4, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel aus der Funktionentheorie, 2; Grundlagen der Theorie der Fourierschen Reihen, 1. — **Timerding**: Darstellende Geometrie, 3, Übungen, 4; Perspektive, 1, Übungen, 2. — **Falckenberg**: Einführung in die höhere Mathematik, 3, Übungen, 1. — **N. N.**: Statik starrer und elastisch-fester Körper, 4, Übungen, 2. — **Schlink**: Technische Mechanik I: Statik, 6, Übungen und Repetitionen, 3, III: Hydraulik, Aerostatik und Aerodynamik, 4, Übungen und Repetitionen, 2; Meteorologie und Flugwesen, 1; Ausgewählte Kapitel aus der Theorie der Konstruktionen, 2. — **N. N.**: Grundzüge der Geodäsie, 2, Übungen, 2; Geodäsie I, 5, Übungen, 2; Grundzüge der sphärischen Astronomie (direkte astronomische Bestimmung der geographischen Koordinaten und des Azimuts), 2, Übungen, 2; Vermessungsübungen I, einschließlich Ausarbeitung, 4, II, 9; Ausarbeitung geodätischer Aufnahmen, 3. —

Technische Hochschule Breslau.

Lummer: Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Physikalisches Praktikum, 3. — **Hilpert**: Elektrotechnik II, 4; Elektromaschinenbau I und II, 2: Apparatebau, 2; Übungen im Elektromaschinen- und Apparatebau, 4: Elektrotechnisches Laboratorium I, 4, III, 8; Kolloquium im Elektrotechnischen Institut, 14 tägig, *g*. — **Euler**: Elektrotechnische Meßkunde I und II, 2; Elektrische Kraftanlagen II, 2; Elektrische Bahnen, 2; Übungen im Bau elektrischer Kraftanlagen und Bahnen, 4. — **Große-Leege**: Telegraphentechnik, 2. —

Ruff: Anorganisch-chemisches Praktikum, tägl.; Analytische Chemie, 3; Chemisches Kolloquium (mit Eucken, Neumann und Semmler), 14 tägig, 2 *g*. — **Neumann**: Anorganisch-chemische Technologie, 4; Chemisch- und elektrochemisch-technisches Praktikum, tägl. — **Semmler**: Organisch-chemisches Praktikum, tägl.; Organische Experimentalchemie, 4; Abriß der organischen Chemie, 1. — **Eucken**: Physikalische Chemie I und II, 2; Physikalisch-chemisches Praktikum für Fortgeschrittene, tägl.; Übungen in physikalischer Chemie und Elektrochemie, 4. — **Naus**: Einführung in die Gastechnik, 1. —

Dehn: Mathematik, 4, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel der Analysis, nach Verabredung. — **Hessenberg**: Darstellende Geometrie 2, Übungen, 4; Analytische Geometrie, 3; Kinematik, nach Verabredung. — **Mann**: Mechanik II: Graphische Statik 4, Übungen, 2, IV, 2, Übungen, 2; Eisenhochbau, einschließlich Eisenbetonbau II, 2, Übungen, 2; Statik der Baukonstruktionen II, 1. — **Steinitz**: Höhere Mathematik II, 2, Übungen, 2; Vektoranalysis, 2. — **von dem Borne**: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Luftschiffahrt: Theorie der Flugzeuge, 2; Aeronautische und meteorologische Übungen, 2; Grundzüge der Meteorologie, 1; Physik der Erdfeste, 2. —

Technische Hochschule Danzig.

Krüger: Experimentalphysik II, 4; Kleines physikalisches Praktikum, 4; Großes physikalisches Praktikum,

tägl. — **Federlin** (für **Kalähne**): Einführung in das physikalische Praktikum, 1; Licht und Wärmestrahlung, 1; Photographie und photographische Reproduktionsverfahren, 1, Übungen I, für Anfänger, II, für Fortgeschrittene, je 3; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten im photophysikalischen Laboratorium, tägl. — **Roeßler**: Elektrotechnik I, 4, II, 2; Elektrotechnisches Laboratorium I, 2, II, 6, III, 9, IV, für Fortgeschrittene (Elektrotechniker), tägl. außer Sonnabend; Projektierung elektrischer Anlagen, 4; Berechnung und Entwurf elektrischer Maschinen (mit Roth), 1, Übungen, 4. — **Roth**: Elektrotechnische Meßkunde für Elektrotechniker, 2. — **Grix**: Elektrische Bahnen, 2, Übungen, 4; Berechnung elektrischer Leitungsnetze, 2. —

v. **Wartenberg** (vertreten durch **Wohl** und **Jellinek**): Anorganisch-chemische Technologie I, 3. III: Technische Elektrochemie, 1; Praktikum im anorganisch-chemischen und elektrochemischen Laboratorium, tägl. — **Wohl**: Organische Experimentalchemie II, 2; Organisch-chemische Technologie I, 3; Praktikum im organisch-chemischen Laboratorium, tägl.; Praktikum im Laboratorium für landwirtschaftliche Gewerbe, tägl. — **Jellinek**: Physikalische Chemie I und II, 2; Kleines physikalisch-chemisches Praktikum I und II, 4; Großes physikalisch-chemisches Praktikum, tägl.; Analytische Chemie I, 2. —

v. **Mangoldt**: Höhere Mathematik II, 2, Übungen, 1; Einführung in die höhere Mathematik, 5. — **Lorenz**: Einführung in die Mechanik, 4, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel aus der Mechanik, 2 *g*. — **Schilling**: Darstellende Geometrie, 3, Übungen, 4; Graphische Statik, 2, Übungen, 3. — **Sommer**: Höhere Mathematik I, 6, Übungen, 1. — **Eggert**: Geodäsie I, 2, II, 2; Praktische Übungen im Feldmessen, 4; Geodätisches Praktikum I, 2, II, 2; Geographische Ortsbestimmung, 2. —

Technische Hochschule Darmstadt.

Schering: Allgemeine Physik mit Versuchen: Magnetismus, Elektrostatik, Elektrische Ströme, 5; Physikalische Übungen (mit Zeißig), 4 Nachmittage; Selbständige Arbeiten aus dem Gebiete der Physik (mit Zeißig, nach Vereinbarung; Theoretische Elektrizitätslehre, 2. — **Zeinig**: Allgemeine Physik mit Versuchen: Magnetismus, Elektrostatik, Elektrische Ströme, 4; Ausgewählte Kapitel aus der allgemeinen Physik, für Pharmazeuten, 1. — **Meisel**: Theorie der optischen Instrumente II, 2. — **Wirtz**: Allgemeine Elektrotechnik I: Elemente der Elektrotechnik 3; Elektrotechnische Meßkunde I: Elektrotechnische Meßinstrumente und Meßmethoden, 2; Übungen im elektrotechnischen Laboratorium (mit Sengel): Praktikum I: Übungen im Gebrauch der Meßinstrumente und Meßverfahren, II: Messungen an Gleich- und Wechselstrommaschinen, Motoren und Umformern, IV, Ausgewählte Übungen aus Praktikum I und II, 4 halbe Tage, III: Selbständige Arbeiten für vorgeschrittenere Studierende (mit Sengel und Petersen), nach Vereinbarung; Grundzüge der Telegraphie und Telephonie, 2; Radiotelegraphisches Praktikum. — **N. N.**: Allgemeine Elektrotechnik II: Gleich- und Wechselstromtechnik, 4. — **Petersen**: Allgemeine Elektrotechnik, Übungen, 2; Grundzüge der Hochspannungstechnik, 1. — **Sengel**: Konstruktion elektrischer Maschinen und Apparate, 3, Übungen, 3; Elektrische Licht- und Kraftanlagen, 2, Übungen, 2; Grundzüge der Elektrotechnik, 2. —

Wöhler: Spezielle anorganische Chemie, 4; Theoretische Chemie II, 2; Kolloquium über chemische Tagesfragen (mit Martin), 1; Chemisches Praktikum für anorganische und physikalische Chemie (mit Heyl, Martin und Schaeffer), tägl. außer Sonnabend. — **Schaeffer**: Agrikulturchemie, 1. — **Finger** Ausgewählte Kapitel aus der organischen Chemie, 2; Teerfarbstoffe, 4; Praktikum im Laboratorium für organische Chemie (mit Friedlaender), tägl. außer Sonnabend; Färberei-Praktikum (mit Heuser), 4. — **Martin**: Analytische Chemie I, 2. — **Friedlaender**: Chemie der natürlichen Farbstoffe, 1 *g*. — **Heyl**: Pharmazeutische Chemie: Organischer Teil, 2. — **N. N.**: Chemische Technologie, 2; Metallurgie, 2; Chemisches, chemisch-technisches und elektrochemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend. — **Vaubel**: Theoretische Chemie II: Thermochemie, 1, Übungen, 3; Die Steinkohlengasindustrie, 1 *g*. — **Sonne**: Chemische Technologie der Explosivstoffe, 2. — **Weller**: Untersuchen von Nahrungsmitteln, Genußmitteln und Gebrauchsgegenständen, 1, Übungen, 8. —

N. N.: Repetitorium der Elementarmathematik, 3–4. — **Graefe**: Höhere Mathematik für Architekten, Chemiker, Elektrochemiker und Geometer, 3, Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel aus der höheren Mathematik, 2; Technische Mechanik, 3, Übungen, 2. — **Horn**: Höhere Mathematik für Ingenieure, Maschinenbauer und Elektrotechniker, 5, Übungen, 3; Integralgleichungen, 2–3. — **Dingeldey**: Höhere Mathematik für Ingenieure, Maschinenbauer und Elektrotechniker, 6, Übungen, 3; Höhere Mathematik II, 2, Übungen, 1. — **Schleiermacher**: Rechenapparate und wissenschaftliches Rechnen, 2; Aerodynamik in Beziehung zur Luftfahrt, 2 *g*. — **Wiener**: Darstellende Geometrie I, 4, Übungen, 6; Neuere mathematische Lehren zur Behandlung naturwissenschaftlicher und technischer Aufgaben: Ortsfunktionen und Vektorfelder, 2; Arbeiten im mathematischen Institut, 3. — **R. Müller**: Darstellende Geometrie I, 4 Übungen, 6; Reine Kinematik, 2. — **Hohenner**: Geodäsie, 4; Ausgewählte Kapitel aus der Geodäsie, 2; Geodätische Übungen I, 8, II, 4; Geodätische Ausarbeitungen, 4; Praktische Geometrie, 2, Übungen 4, Ausarbeitungen, 2. — **Assistenten**: Planzeichnen, 4 und 2. — **Henneberg**: Mechanik I, 6. — **Braun**: Hydraulik, 2, Übungen, 1. —

Technische Hochschule Dresden.

Hallwachs: Experimentalphysik II: Elektrizität II, Optik, 5; Physikalisches Praktikum I, 6 oder 3, II, einschließlich Laboratoriumstechnik, für Fortgeschrittene, 9; Praktikum für größere physikalische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend. — **Toepler**: Theoretische Physik III: Elektrizität und Magnetismus, 4, Übungen, 1 *g*. — **Luther**: Photographisches Praktikum, für Anfänger und Vorgeschrittene, 4 und 8; Selbständige Arbeiten im wissenschaftlich-photographischen Institut, 2 und 4, auch ganz- und halbtägig. — **Görges**: Allgemeine Elektrotechnik I, 3; Theorie des Wechselstromes I, 2; Theorie der Leitungen I, mit seminaristischen Übungen, 2; Elektrotechnisches Praktikum I, 4; Elektrotechnische Übungen für Geübtere I, 8; Selbständige Arbeiten im Elektrotechnischen Institut, 20; Elektrische Meßkunde, 2. — **Heubach**: Elektromaschinenbau I, 2, III und Kolloquium, 2. — **Möllering**: Telegraphie und Telephonie, 3. — **Wagner**: Übungen im Elektromaschinenbau für Elektroingenieure, 12, für Maschinen- und Fabrikingenieure, 4. —

F. Foerster: Anorganische Experimentalchemie, 6; Anorganisch-chemisches Praktikum: Qualitative Analyse, 12, Qualitative Analyse, technische Titriermethoden, Gasanalyse, tägl. außer Sonnabend; Praktikum für größere Arbeiten auf dem Gebiete der Elektrochemie und physikalischen Chemie, tägl. außer Sonnabend. — **Scholl**: Organisch-technische Chemie II, 3; Neuere Erfolge und Probleme der organischen Chemie, 1; Organisch-chemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend; Praktikum für Farbenchemie (mit v. Walther), 12; Praktikum für Farbenchemie bzw. Färbereitechnik (mit v. Walther), tägl. außer Sonnabend; Praktikum für größere Arbeiten der Farbenchemie bzw. der Färbereitechnik (mit v. Walther), tägl. außer Sonnabend. — **König**: Chemie und chemische Technologie der organischen Farbstoffe, 4. — **v. Walther**: Organisch-chemische Arbeitsmethoden, 2. — **Dietz**: Die chemische Technologie der Mörtel und Zemente, 1; Die chemische Technologie des Glases, 1. —

Krause: Höhere Mathematik III, 3; Seminaristische Übungen (mit Naetsch), 14tägig, 2; Einleitung in die Theorie der unendlichen Prozesse, 4; Mathematisches Seminar, 1 *g*; Seminaristische Übungen für Physiker (mit Naetsch), 1 *g*. — **Müller**: Allgemeine mechanische

Technologie I, 3; Papierfabrikation, 3; Praktikum für die Faserstofftechnik, für Fortgeschrittene, 20, für Anfänger, 12. — **Helm**: Höhere Mathematik I, 5, Übungen, 2; Analytische Mechanik, 4; Versicherungstechnisches Seminar, 1 *g*, Übungen, 2. — **Ludwig**: Darstellende Geometrie I, 3, Übungen, 4; Synthetische Geometrie, 3, Übungen, 2 *g*; Theorie der Abbildung und Verbiegung der Flächen, 2; Seminaristische Übungen über höhere Geometrie, 1 *g*. — **Naetsch**: Sphärische Trigonometrie, 2; Analytische Geometrie der Kegelschnitte, 3; Fokaleigenschaften der Flächen 2. Grades, 1. — **Pattenhausen**: Methode der kleinsten Quadrate, 2, Seminaristische Übungen, 1; Höhere Geodäsie 2, Seminaristische Übungen, 1; Astronomisch-geographische Ortsbestimmungen, für Ingenieure und Forschungsreisende, 2, Seminaristische Übungen, 1; Vorübungen zum Planzeichnen für Verm.-Ing.: Schriftzeichnen, 2; Planzeichnen II, für Bauingenieure, 2, für Verm.-Ing., 4; Skizzieren geodätischer Instrumente, Übungen, 2; Triangulierungsübungen, 4; Geodätisches Praktikum I, 4, II, 4; Geodätisches Praktikum für Architekten, 4; Größere Geländeaufnahmen, 2 Wochen. — **Grübler**: Technische Mechanik II: Statik einschließlich graphischer Statik, 6, Seminaristische Übungen, 2; Graphostatische Übungen, 1. —

Universität Frankfurt a. M.

Wachsmuth: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, $3^3/_4$; Elektrizitätsleitung in Gasen, 1; Physikalisches Kolloquium (mit v. Laue), 14tägig, $1^1/_2$ *g*; Physikalische Übungen für Anfänger, 6, für Fortgeschrittene, tägl.; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — **v. Laue**: Partielle Differentialgleichungen der mathematischen Physik, 2. — **Déguisne**: Der elektrische Wechselstrom (Experimental-Vorlesung), 2; Wechselstrommessungen, 1; Die elektrische Wechselstrom-Maschine, 1 *g*; Kolloquium über die neuere Literatur der angewandten Physik, 14tägig, 2 *g*; Kleines elektrotechnisches Praktikum I: Meßtechnik, Photometrie, 3, II: Maschinen, Motore, 3; Großes elektrotechnisches Praktikum; halb- oder ganztägig; Wissenschaftliche Arbeiten, ganztägig. —

Freund: Anorganische Experimentalchemie, $3^3/_4$; Kolloquium über neue chemische Literatur, 14tägig, $1^1/_2$ *g*; Großes chemisches Praktikum und Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten: a) Organische Abteilung, ganztägig, b) Anorganische Abteilung (mit Ebler), ganz- oder halbtägig; Kleines chemisches Praktikum für Anfänger (mit Ebler), 2 halbe Tage; Chemisches Praktikum für Mediziner (mit Ebler), 6; Chemisches Praktikum für Angehörige der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät (mit Speyer), 2 halbe Tage. — **Lorenz**: Elektrochemie, 3; Geschmolzene Salze (Fortsetzung), 1; Kolloquium über neuere Arbeiten aus dem Gebiete der physikalischen Chemie, 14tägig, 2 *g*; Kleines Praktikum der physikalischen Chemie und Elektrochemie (mit Fraenkel), 4 Wochen; Großes physikalisch-chemisches Praktikum (mit Fraenkel), halb- oder ganztägig; Wissenschaftliche Arbeiten, ganztägig. — **Fraenkel**: Hohe Temperaturen: Erzeugung, Messung und chemische Vorgänge, 1. — **Mayer**: Einführung in die organische Chemie auf elementarer Grundlage, 1; Chemie und Technologie der Teerfarbstoffe, 2; Praktische Übungen in der Färberei der Textilfasern, 2. — **Ebler**: Analytische Chemie II: Gewichtsanalyse und Maßanalyse, 2: Gasanalyse und Gasvolumetrie, 1, Übungen, 4; Radioaktivität und radioaktive Substanzen, 2; Ausgewählte Kapitel aus der anorganischen Technik, 1; Kolloquium über anorganische und analytische Chemie, 1 *g*. — **Speyer**: Chemische Technologie: Organische Prozesse, 2. — **Tillmans**: Wasserreinigung und Abwässerbeseitigung, 1 *g*; Praktikum der Nahrungsmittelchemie oder Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, halbtägig. — **Becker**: Angewandte Chemie und Bakteriologie in Industrie, Handel und Gewerbe, Chemisch-technische Warenkunde, Chemie und Industrie der Ersatzstoffe I und II, mit Exkursionen, je 2; Chemisches Praktikum: Übungen in der Untersuchung und Beurteilung von Handelswaren (Chemisch-technische Analyse), 5. —

Schoenflies: Differentialgeometrie, 4, Übungen, 1; Mathematisches Seminar: Vorträge der Teilnehmer aus verschiedenen Gebieten (mit Bieberbach und Szász), 2 *g*. — **Bieberbach**: Differentialrechnung, zugleich Einführung in das Studium der höheren Mathematik, 4; Geschichte der Mathematik im neunzehnten Jahrhundert, 2. — **Brendel**: Wahrscheinlichkeitsrechnung, 2; Einführung in die praktische Astronomie: Geographische Orts- und Zeitbestimmung (mit Labitzke), 4; Vorträge und Besprechungen über versicherungswissenschaftliche Fragen, 2 *g*. — **Szász**: Analytische Geometrie, 4; Ganze transzendente Funktionen, 2, Übungen für Anfänger, 1. —

Universität Freiburg i. Br.

Himstedt: Experimentalphysik: Magnetismus, Elektrizität, Optik, Elektro-Optik, 5; Übungen aus der theoretischen Physik, 1; Physikalisches Praktikum, für Mediziner und Pharmazeuten, 1 Nachmittag, für Naturwissenschaftler, 2 Nachmittage; Physikalisches Kolloquium, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Koenigsberger**: Mathematische Physik: Optik, mit Übungen, 2–3; Relativitätstheorie, 1—2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Gaede**: Anleitung zu selbständigen Arbeiten im technisch-physikalischen Institut, tägl. — **Friedrich**: Physik der Atmosphäre, 2; Besprechung neuerer Arbeiten aus dem Gebiete der Physik, 1; Über Dosimeterverfahren in der Strahlentherapie mit Vorführungen für Mediziner, 1; Anleitung zu selbständigen Arbeiten aus dem Gebiete der Experimentalphysik, tägl. —

Gattermann: Organische Experimentalchemie, 5; Chemisches Praktikum (mit Riesenfeld, Fromm, Meigen, Skita, Hess und Schwarz), a) für Chemiker, ganztägig, b) für Nichtchemiker, halbtägig, tägl. außer Sonnabend. — **Kiliani**: Anorganische Experimentalchemie, 5; Arbeiten und Übungen im chemischen Laboratorium, medizinische Abteilung, tägl.; Chemisches Praktikum (mit Autenrieth und Knoop), 6. — **Meyer**: Physikalische Chemie, 3; Photographie mit praktischen Übungen und Demonstrationen, 2; Radioaktivität, 1; Physikalisch-chemisches Übungspraktikum, 2; Selbständige physikalisch-chemische Arbeiten, nach Verabredung. — **Riesenfeld**: Anorganische Experimentalchemie, 5; Kolloidchemie, 1; Ionenlehre, 1. — **Fromm**: Organische Technologie mit Exkursionen, 2; Repetitorium der organischen Chemie für Mediziner, 2, Repetition, 1. — **Meigen**: Qualitative Analyse, 3; Gasanalytisches Praktikum, 2. — **Skita**: Chemie der Teerfarbstoffe, 2; Übungen im Färben von Gespinstfasern, 2. — **Hess**: Chemie der Zuckerarten, 1. — **Autenrieth**: Pharmazeutische Chemie II: Organische Chemie, 2; Chemie des Harns, 1. — **Knoop**: Ausgewählte Kapitel der physiologischen Chemie, 1; Physiologisch-chemisches Praktikum, 3; Arbeiten und Übungen im physiologisch-chemischen Institut; Einleitung in das chemische Praktikum für Mediziner, 1. — **Madelung**: Theorien der organischen Chemie, 1. — **Schwarz**: Theoretische Grundlagen der quantitativen Analyse, 1; Neuere Anschauungen der anorganischen Chemie, 1; Seminar für anorganische Chemie, Repetitorium, 1. —

Stickelberger: Analytische Geometrie der Ebene, 4, Übungen, 1; Funktionentheorie, 4, Seminarübungen, 1. — **Heffter**: Algebraische Analysis: Irrationale und imaginäre Zahlen, unendliche Reihen, Produkte, Kettenbrüche, mit Übungen, 4; Algebraische Kurven und Flächen höherer Ordnung, 3; Mathematisches Seminar: Algebraische Kurven und Flächen, 2 *g*. — **Loewy**: Integralrechnung, 4, Übungen, 1 *g*; Versicherungsmathematik, 2. — **Bolza**: Elliptische Funktionen, 4. — **Seith**: Praktische Geometrie, 2, Übungen, 2 *g*. — **Ansel**: Theoretische Astronomie, 3; Theorie der Gezeiten, 2; Geographische Ortsbestimmung mit Übungen, 3 *g*. —

Universität Gießen.

König: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Physikalisches Praktikum für Mathematiker und Naturwissenschaftler, 6, für Fortgeschrittene, nach Verabredung, für Chemiker, Mediziner, Pharmazeuten und Landwirte, 3; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar für Lehramtskandidaten: Übungen in Demonstrationsversuchen und Behandlung einfacher theoretischer Hausaufgaben (mit Cermak), 14tägig, 2 *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Fromme), 14tägig, 2. — **Fromme**: Theoretische Elektrizitätslehre, 4; Theoretisch-physikalische Übungen, 1; Niedere Geodäsie, 3; Praktische Übungen, 1 Nachmittag; Meteorologie, 1. — **Cermak**: Radioaktivität, 1; Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Uller**: Einführung in die mathematische Behandlung physikalischer Probleme, 1. — **Jentzsch**: Beugungstheorie der optischen Instrumente, 1; Ballistik, 1. — **Peppler**: Meteorologische Optik, 1. —

Elbs: Anorganische Experimentalchemie, 5; Chemisches Praktikum, tägl.; Chemische Übungen für Landwirte, tägl. außer Sonnabend, für Mediziner und Veterinärmediziner (mit Brand), 5. — **Schaum**: Einführung in die physikalische Chemie, 2; Physikalisch-chemische Übungen, 3; Photographische Übungen, 3; Physikalisch-chemisches Praktikum, ganz- oder halbtägig. — **Brand**: Chemische Technologie I: Technologie anorganischer Stoffe, mit Exkursionen, 2. — **Thomae**: Besprechung neuerer chemischer Patente, 1. — **v. Liebig**: Grundanschauungen der Chemie in ihrer geschichtlichen Entwicklung, 1 *g*. — **Feist**: Pharmazeutische Präparate, anorganischer Teil, 3; Die menschlichen Nahrungsmittel und ihre Verfälschungen, 1; Gesetzeskunde für Apotheker und Nahrungsmittelchemiker, 1. —

Engel: Analytische Geometrie, mit Übungen, 5; Differentialgeometrie (Fortsetzung), 4, Seminar, 2. — **Schlesinger**: Differentialrechnung, mit Übungen, 5; Lineare Differentialgleichungen, 4; Seminar: Funktionentheorie, 1. — **Graßmann**: Analytische Mechanik II, 4, Seminar, 14tägig, 1; Festigkeitslehre, 4. —

Universität Göttingen.

Debye: Thermodynamik mit erläuternden Demonstrationen, 4; Physikalisches Praktikum für Physiker und Mathematiker (mit Simon u. Rausch v. Traubenberg), 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Voigt und Pohl), 2 *g*. — **Voigt**: Mechanik, 4, Übungen, 2 *g*; Elektrische Schwingungen, 2 *g*. — **Wiechert**: Geophysik: Meteorologie, Wettervorhersage, Luftelektrizität, 4; Vermessungswesen, praktischer Teil, 4; Polarlicht, 1 *g*; Geophysikalisches Praktikum, nach Vereinbarung, *g*. — **Simon**: Schwingungen und Resonanz in Physik und Technik, 4; Lichtelektrische Erscheinungen, 1 *g*; Elektrotechnisches Praktikum, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiete der angewandten Elektrizitätslehre, tägl. — **Reich**: Geschichte der Elektrizitätslehre, 1. — **Pohl** (ev. **Rausch v. Traubenberg**): Experimentalphysik mit besondererBerücksichtigung der Naturwissenschaftler, Chemiker und Mediziner, 4; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, Chemiker und Mediziner, 4; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, für Fortgeschrittene, tägl. — **Gerlach**: Spektroskopie und Spektralanalyse, mit Experimenten, 1 *g*; Experimentelle Strahlungstheorie, 1; Einführung in die Experimentalphysik (als Ergänzung zum Praktikum für Kriegsteilnehmer), 2. — **Rausch v. Traubenberg**: Einführende physikalische Übungen für Kriegsteilnehmer, 2. —

Windaus: Allgemeine Chemie II: Organische Chemie, 5; Chemisches Kolloquium, 1 *g*; Seminar für Lehramtskandidaten (mit Borsche), nach Vereinbarung; Chemische Übungen (mit Borsche), tägl. außer Sonnabend; Chemisches Praktikum für Mediziner (mit Borsche), 6. — **Tammann**: Physikalische Chemie, 2; Physikalisch-chemisches Praktikum für Anfänger, 4 Wochen; Physikalisch-chemische Arbeiten, ganz- und halbtägig; Kolloquium, 1 *g*. — **Coehn**: Die Chemie im Kriege: Stickstoffgewinnung, Explosivstoffe usw., 1; Photographisches Praktikum: a) für Anfänger, b) für Fortgeschrittene, 3; Photochemische Arbeiten, ganz- und halbtägig. — **Borsche**: Grundzüge der analytischen Chemie, 2; Chemische Technologie organischer Verbindungen II, 2. — **Zsigmondy**: Anorganische Kolloide II, 1 *g*; Ausgewählte Kapitel aus der anorganischen Chemie II, 1; Praktikum der anorganischen und der Kolloidchemie, ganz- und halbtägig. — **Mannich**: Die Auffindung der Gifte, 1; Pharmazeutische Chemie, anorganischer Teil, 3; Kolloquium über pharmazeutische Chemie, 1 *g*; Praktische Übungen in pharmazeutischer, toxikologischer und Nahrungsmittelchemie, tägl. außer Sonnabend; Einführung in die Chemie für Mediziner, 2. — **Vogel**: Einführung in die Lehre vom heterogenen Gleichgewicht, 1; Metallographisches Praktikum, 3. — **Bachmann**: Ausgewählte Kapitel aus der analytischen Chemie: Maßanalyse, optische Analyse und Mikroanalyse, 1. —

Hilbert: Differentialgleichungen, 4, Übungen (mit Frl. Noether), 2 *g*; Struktur der Materie (mit Debye), 2 *g*. — **Klein**: Vorträge über Bedeutung und Invariantentheorie der Berührungstransformationen, 2 *g*. — **Runge**: Differential- und Integralrechnung I, mit Übungen, 6; Kolloquium über Fragen der angewandten Mathematik, 2 *g*. — **Landau**: Zahlentheorie, 4; Trigonometrische Reihen, 2; Mathematisch-physikalisches Seminar: Übungen für mittlere Semester, 2 *g*. — **Carathéodory**: Analytische Geometrie, 4; Übungen, 1 *g*; Reelle Funktionen, 4. — **Bernstein**: Wahrscheinlichkeitsrechnung und Methode der kleinsten Quadrate, 3; Versicherungsrechnung, mit schriftlichen Übungen, 2; Biostatistik, insbesondere des Menschen, 1 *g*; Seminar für Versicherungswissenschaft: Vorträge über ausgewählte Gegenstände der mathematischen Statistik, 2 *g*. — **Hartmann**: Spektralanalyse der Gestirne, 1; Astronomische Übungen für Anfänger und Lehramtskandidaten, 2; Astronomisches Seminar, 2 *g*; Leitung astronomischer und astrophysikalischer Arbeiten für Fortgeschrittenere, 12. — **Ambronn**: Theorie und Gebrauch der astronomischen Instrumente, 2; Über Ephemeriden und Sternverzeichnisse, 1; Astronomische Übungen für Anfänger, 6; Leitung astronomischer Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl. —

Universität Graz.

Benndorf: Experimentalphysik II, für Mediziner, zugleich Einführung in die Physik für Lehramtskandidaten, 4; Physikalische Übungen I, für Chemiker und Naturhistoriker, 6 *g*, II, für Mathematiker und Physiker, 6 *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten für Vorgeschrittene, tägl. außer Sonnabend, *g*. — **Streintz**: Theorie des galv. Elementes auf Grundlage der Elektrochemie, 2. — **Rosenberg**: Übungen in der Anstellung physikalischer Schulversuche, 3 *g*. — **Waßmuth**: Wärme und Elastizität, 1 *g*. — **Radakovic**: Seminar für theoretische Physik, 2 *g*; Besprechung physikalischer Fragen, 1 *g*. —

Skrabal: Organische Experimentalchemie, 5; Chemische Übungen (auch für Lehramtskandidaten), für Anfänger, tägl. außer Sonnabend; für Vorgeschrittene, tägl., für Mediziner, 4. — **Kremann**: Physikalische Chemie VI, 3; Die graphischen Methoden in der Chemie, 2; Physikalisch-chemisches Praktikum, tägl. — **v. Hemmelmayr**: Organische Farbstoffe, 2; Experimentierübungen (chemische Schulversuche), für Lehramtskandidaten, 2. —

v. Dantscher: Elemente der Funktionentheorie: Differentialrechnung, 5; Mathematisches Seminar, 2 *g*. — **v. Daublebsky**: Grundzüge der analytischen Geometrie (Fortsetzung), 2; Funktionentheorie, 3; Mathematisches Seminar II, 2 *g*. — **Streißler**: Darstellende Geometrie, 3. — **Hillebrand**: Die Laplacesche Kosmogonie, 2; Wahrscheinlichkeits- und Ausgleichsrechnung, 3; Kalendariographie, 1 *g*. —

Technische Hochschule Graz.

v. Ettingshausen: Physik, 5; Elektrizitätslehre, 5; Elektrotechnik, 3½; Elektrotechnische Übungen: Prak-

tische Messungen, 8; Enzyklopädie der Elektrotechnik, 2. — **Streintz**: Physik: Mechanik, Optik und Wärmelehre, 4; Der Bleiakkumulator, $1^1/_2$. —

Emich: Organische Chemie I, 5; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten im chemischen Laboratorium, für Vorgeschrittene; Anleitung zur mikrochemischen Analyse, für Vorgeschrittene (mit Donau), nach Vereinbarung. — **Andreasch**: Qualitative chemische Analyse II, 2, Laboratoriumsunterricht und Übungen II, 16; Chemische Technologie der organischen Stoffe: Technologie der Fette und Mineralöle, 4; Laboratoriumsunterricht und Übungen in der organisch-technisch-chemischen Analyse, 20; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus dem Gebiete der organischen Chemie und der chemischen Technologie organischer Stoffe, für Vorgeschrittene. — **B. Reinitzer**: Quantitative chemische Analyse II: Maßanalyse, 1, Laboratoriumsunterricht und Übungen, 20; Chemische Technologie der anorganischen Stoffe: Technologie der Silikate, 4; Elektrochemie II: Angewandte Elektrochemie, 2; Laboratoriumsunterricht und Übungen in der Darstellung anorganisch-chemischer Präparate, 20; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus dem Gebiete der anorganischen Chemie und der chemischen Technologie anorganischer Stoffe, für Vorgeschrittene, nach Vereinbarung. — **v. Cordier**: Typisch wichtige organische Synthesen, 1. — **Kremann**: Ausgewählte Kapitel aus der physikalischen Chemie II, 2. — **Donau**: Kolloidchemie II, auch für Anfänger, 1. — **Fuhrmann**: Photographie: Wissenschaftliche Photographie, einschließlich Mikrophotographie und Röntgenphotographie, 1; Chemie der Nahrungs- und Genußmittel, 3, Übungen, 4. — **N. N.**: Mechanische Technologie I, 2, II, 2, III, 2; Mechanische Schutzmittel gegen Unfälle, 2. — **v. Hemmelmayr**: Agrikulturchemie, 2. —

Hocevar: Mathematik I: Algebra und Analysis, Analytische Geometrie der Ebene und des Raumes, 6, Übungen (mit Weitzenböck), 2. — **Weitzenböck**: Elemente der höheren Mathematik, 4; Einführung in die Wahrscheinlichkeits- und Ausgleichungsrechnung, 1. — **v. Peithner**: Mathematik II: Geometrie, Integralrechnung, Differentialgleichungen, 4, Übungen (mit Weitzenböck), 2. — **Schüler**: Darstellende Geometrie, 3, Repetitorium, 2, Übungen, 6, Seminarübungen: Unterseminar, 2, Oberseminar für Vorgeschrittene, 2; Projektive Geometrie II, 3, Übungen, 3. — **Wittenbauer**: Allgemeine Mechanik, einschließlich der Elemente der graphischen Statik II: Statik, -Kinematik, Dynamik, 4, Übungen, 3 und 2; Technische Mechanik II: Hydrostatik, Hydraulik, Mechanik der Gase, Flug- und Luftschiffahrt, 3. — **Klingatsch**: Niedere Geodäsie, 4; Geodätische Feldübungen, 8; Sphärische Astronomie, 2; Katastervermessung, 3, Übungen, 16. —

Universität Greifswald.

Stark: Experimentalphysik I: Allgemeine Dynamik, Elastodynamik, 5; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6; Physikalisches Praktikum für Mediziner und Pharmazeuten, 2; Anleitung zu selbständigen Untersuchungen, tägl.; Besprechung neuer physikalischer Arbeiten, 14tägig, 2 *g*; Einleitung in die theoretische Physik, 3. — **Bestelmeyer**: Angewandte Physik I, 2. —

Dimroth: Anorganische Experimentalchemie, 6; Chemisches Praktikum, tägl. außer Sonnabend: a) Anorganische Abteilung, ganz- und halbtägig, b) Organische Abteilung, ganztägig (mit Posner), c) für Pharmazeuten und Nahrungsmittelchemiker (mit Scholtz), ganz- und halbtägig, für Mediziner (mit Scholtz), 4, Erläuterungen, $1/_2$ *g*. — **Posner**: Chemische Technologie II: Organische Stoffe, 2; Besprechung neuerer Arbeiten aus dem Gebiete der organischen Chemie, 1 *g*. — **Scholtz**: Pharmazeutische Chemie, organischer Teil, 3; Chemie der Nahrungs- und Genußmittel, 2; Sterilisationskursus für Pharmazeuten, 2; Pharmazeutisches Kolloquium, 1 *g*. —

Vahlen: Ballistik, 2 *g*; Mechanik I, 3; Seminaristische Übungen, 2. — **Hausdorff**: Differentialrechnung, 4, Übungen, 1 *g*; Funktionentheorie, 4; Mathematisches Seminar, 2 *g*. — **Thaer**: Algebra, 4; Darstellende Geometrie, mit Übungen, 6. —

Universität Halle.

Mie: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Physikalische Übungen für Naturwissenschaftler, 6, Erläuterungen, 2 *g*; Kleines physikalisches Praktikum für Mediziner, Pharmazeuten und Landwirte, 3; Leitung selbständiger physikal. Untersuchungen, tägl. — **Schmidt**: Theorie der Wärme, 4; Übergangspraktikum für angewandte Physik, 4; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, 2 *g*. — **Wigand**: Über Elektronen und Ionen, 1; Physikalisches Handfertigkeitspraktikum, 1 Nachmittag. — **Thiem**: Kursus der praktischen Photographie, 2. —

Vorländer: Allgemeine Experimentalchemie I: Organische Chemie, 5; Praktische Übungen im Chemischen Laboratorium (mit Schulze), tägl., für Mediziner, 2 halbe Tage; Einzelne Abschnitte der organischen Chemie, 1 *g*. — **Erdmann**: Praktische Übungen im Laboratorium für angewandte Chemie, tägl. außer Sonnabend; Teerfarbstoffe, 1 *g*. — **Schulze**: Darstellung und Prüfung der Arzneimittel I, 2; Chemisches Praktikum für Pharmazeuten, tägl.; Sterilisationsübungen für Pharmazeuten, 1 *g*. — **Baumert**: Chemie der Nahrungs- und Genußmittel, 2; Praktische Übungen im Laboratorium für Nahrungsmittelchemie, tägl. außer Sonnabend; Die wichtigsten Lebensmittel und deren Verfälschungen, 1 *g*. — **Tubandt**: Physikalische Chemie I, 2; Übungen und selbständige Arbeiten im physikalisch-chemischen und elektrochemischen Laboratorium, tägl.; Kleines physikalisch-chemisches Praktikum, 4; Physikalisch-chemische Meßmethoden: Erläuterungen zum physikalisch-chemischen Praktikum, 1 *g*. —

Wangerin: Differentialgeometrie: Anwendung der Differential- und Integralrechnung auf die Lehre von den Raumkurven und Flächen, 5; Übungen des Mathematischen Seminars, 1 *g*; Ausgewählte Kapitel der höheren Mathematik, 2 *g*. — **Gutzmer**: Analytische Geometrie der Ebene, 4; Zahlentheorie, 3; Übungen des Mathematischen Seminars, 1 *g*; Ausgewählte Kapitel der höheren Mathematik, 2 *g*. — **Eberhard**: Differentialrechnung, 4, Übungen, 1 *g*. — **Buchholz**: Sphärische Astronomie und geographische Ortsbestimmung, 2; Übungen in geographischer Ortsbestimmung, 2. — **Bernstein**: Verbrennungskraftmaschinen, 2. — **Grammel**: Einführung in die Vektorrechnung, 2. —

Technische Hochschule Hannover.

Precht: Experimentalphysik, 4; Arbeiten im Laboratorium der Physik (mit Leithäuser), 4; Luftschiffahrt, 2. — **Leithäuser**: Photographie, 2, Übungen, 2; Elektrische Wellen und drahtlose Telegraphie, 2. — **Kohlrausch**: Grundzüge der Elektrotechnik, 2; Theoretische Elektrotechnik, 4; Elektrotechnisches Laboratorium (mit Beckmann, Brückmann) I, 8, II, 16, III, für Maschinen-Ingenieure, 8. — **Heim**: Elektrische Anlagen II: Zentralanlagen, 3, Übungen, 2; Entwerfen von elektrischen Maschinen u. Transformatoren, 3, Übungen, 2; Elektr. Bahnen, Elektrotechnischer Teil, 2; Elektrische Kraftübertragung, 2. — **Beckmann**: Praktische Elektrotechnik für Anfänger I, 1; Elektrotechnische Meßkunde I 1, 2, II, 1; Elektrizitätszähler, 1 *g*. — **Brückmann**: Gleichrichter zur Umformung von Wechselstrom in Gleichstrom, 1 *g*; Elektrotechnisches Seminar, 1; Einanker und Kaskaden-Umformer, 1. —

Seubert: Grundzüge der Chemie, 6; Arbeiten im Laboratorium der anorganischen Chemie (mit Eschweiler, Seybold und Sauermilch), tägl. außer Sonnabend. — **Eschweiler**: Maßanalyse, 2. — **Behrend**: Grundzüge der organischen Chemie, 3; Arbeiten im Laboratorium der organischen Chemie (mit Nottbohm und Odenwald), tägl. außer Sonnabend. — **Ost**: Zuckerindustrie und Gärungsgewerbe, 3; Mineralöle und Fette, 2; Arbeiten im Laboratorium der techni-

schen Chemie, tägl. außer Sonnabend. — **Bodenstein**: Angewandte Elektrochemie, 3; Elektrochemische Übungen (mit Braune), 4; Arbeiten im elektrochemischen Institut (mit Braune), tägl.; Übungen in der Elektroanalyse (mit Braune), 7. — **Jänecke**: Metallographie des Eisens und seiner Legierungen, 1. — **Laves**: Grundzüge der physiologischen Chemie, 2. —

Kiepert: Höhere Mathematik II (mit Prange), 6, Übungen, 2, Repetition, 1; Ausgewählte Kapitel der Mathematik: Höhere Mathematik IV, 4. — **Müller**: Höhere Mathematik (mit Prange) I A, 6, Übungen, 2, III A, 3, Übungen, 1; Geschichte der Mechanik seit Euler, 1. — **Salkowski**: Grundzüge der höheren Mathematik, 3, Übungen, 1; Praktische Mathematik, 2, Übungen, 2; Versicherungsmathematik, 2. — **Rodenberg**: Darstellende Geometrie I (mit Morin), 3, Übungen, 6; Mathematisches Seminar (mit Müller und Salkowski), 2 g. — **Prange**: Die Stabilität der Bewegung (mit besonderer Berücksichtigung des Flugzeugs), 2; Einführung in die Theorie der algebraischen Kurven, 2. — **Oertel**: Grundzüge der praktischen Geometrie (mit Petzold), 2, Übungen, 3; Praktische Geometrie, Planzeichnen (mit Petzold), 4; Geodäsie I: Praktische Geometrie (mit Petzold), 2, Übungen, 6; Grundzüge der astronomischen Ortsbestimmung, 2. — **Pröll**: Mechanik I: Grundzüge der Mechanik (mit Tietzel), 4, Übungen, 1; Ausgewählte Kapitel der technischen Mechanik (mit Tietzel), 1; Aeromechanik in ihrer Anwendung auf Motorluftschiffe und Flugzeuge (mit Tietzel), 1, Übungen, 1. — **N. N**: Maschinen Meßkunde, 2. —

Universität Heidelberg.

Lenard: Experimentalphysik: Optik, Elektrizität und Magnetismus, 4; Physikalisches Praktikum (mit Becker), 6; Physikalisches Seminar und Kolloquium, 1 g; Wissenschaftliche Arbeiten im physikalischen und radiologischen Laboratorium (mit Becker), tägl. außer Sonnabend. — **Becker**: Theoretische Optik, 4; Kathodenstrahlen, 1. — **Schmidt**: Photographische Kurse für Anfänger und Vorgeschrittene, 2. —

Curtius: Experimentalchemie I: Allgemeine Chemie und Metalloide, 5; Chemisches Praktikum für Anfänger und Geübtere in anorganischer, organischer, physikalischer, analytischer und pharmazeutischer Chemie (mit Jannasch, Trautz, Müller und Schrader), tägl. außer Sonnabend, für Lehramtskandidaten und Mediziner, halbtägig; Chemisches Anfänger-Praktikum für Mediziner, 4. — **Krafft**: Organische Chemie, 4; Praktisch-chemische Arbeiten und Übungen im Laboratorium, tägl. außer Sonnabend; Chemisches Ferien-Praktikum im Februar und März, tägl. außer Sonnabend: Chemisches Praktikum für Anfänger, tägl. außer Sonnabend. — **Jannasch**: Titrier-Analyse, 2; Ausmittelung der Gifte, 1; Gasanalytisches Praktikum (mit Müller), 4; Chemisches Praktikum zur Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel, 5. — **Knoevenagel**: Technologische Chemie. — **Trautz**: Physikalische Chemie; Photochemie, chemische Reaktionsgeschwindigkeit und Katalyse, 3; Physikalische Chemie der Gesteine des Vulkanismus und des Kosmos: Silikatchemie, Geochemie, kosmische Chemie, 2; Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften, 1, Übungen, 1; Praktische Einführung in die physikalische und Elektrochemie, 4—6 Wochen. — **Mohr**: Besprechung neuerer organisch-chemischer Arbeiten, 1. — **Stollé**: Pharmazeutische Chemie. — **Muckermann**: Über neuere Arzneimittel; Repetitorium der Chemie für Pharmazeuten. — **Müller**: Qualitative Analyse; 1; Gasanalyse und Gasvolumetrie, 1, Praktische Übungen, 2. — **Schrader**: Geschichte der organischen Chemie seit Kekulé, 1; Repetitorium der organischen Chemie, 2. —

Stäckel: Differential- und Integralrechnung, 4, Übungen, 1; Mathematisches Oberseminar (mit Perron), 2; Differentialgleichungen, 3. — **Perron**: Ausgewählte Kapitel aus der Elementargeometrie, 3; Mathematisches Unterseminar, 1. — **Koenigsberger**: Funktionentheorie, 4; Abelsche Gleichungen und Kreisteilung, 1. — **Koehler**: Analytische Geometrie der Ebene, 3. — **Pfeiffer**: Darstellende Geometrie mit Übungen, 3. — **Wolf**: Elemente der Witterungskunde, 2 g. —

Tagesereignisse.

Auf Einladung der Kommission der **Wolfskehl-Stiftung** der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen wird Herr Professor Dr. Max Planck in Göttingen am 13.—17. Mai, 9—10 Uhr, einen öffentlichen Vortragszyklus über Quantentheorie mit anschließender Diskussion abhalten. Die Themata seiner Vorträge sind:

1. Einleitung. Entropie und Wahrscheinlichkeit. Hohlraumstrahlung.
2. Materielle Systeme mit einem Freiheitsgrad.
3. Materielle Systeme mit einigen Freiheitsgraden.
4. Materielle Systeme mit vielen Freiheitsgraden.

Der Besuch steht jedem Fachgenossen frei.

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Schriftleitung von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Ernannt: Der Privatdozent für chemische Technologie an der Technischen Hochschule Karlsruhe Dr. Ernst Terres zum a. o. Professor ebenda, der Vizekanzler der Universität Helsingfors Professor der Chemie Wirklicher Staatsrat Dr. Edward Immanuel Hjelt zum Gesandten der finnischen Republik beim Deutschen Reiche, der a. o. Professor an der Technischen Hochschule Dresden Dr. Heinrich Barkhausen zum ord. Professor für Schwachstromtechnik und Direktor des Institutes ebendaselbst.

Berufen: Der ord. Professor an der Landwirtschaftlichen Hochschule und Privatdozent an der Universität Berlin Dr. Jacob Meisenheimer zum ord. Professor der Chemie an der Universität Greifswald, der ord. Professor an der Universität Göttingen Geh. Regierungsrat Dr. Emil Wiechert zum ord. Professor der Geophysik und Geodäsie an der Universität Berlin.

Verliehen: Dem ord. Professor der Chemie an der Universität Halle Dr. Daniel Vorländer, dem ord. Professor der Physik an der Universität Münster Dr. Gerhard Schmidt, dem ord. Professor für Chemie an der Universität Bonn Dr. Eberhard Rimbach, dem a. o. Professor der Chemie an der Universität Königsberg Dr. Reinhard Blochmann, dem Abteilungsvorsteher des Königl. Meteorologischen Instituts Potsdam Professor Dr. Reinhard Süring, dem ord. Professor der organischen Chemie an der Technischen Hochschule Berlin und a. o. Professor an der Universität daselbst Dr. Robert Pschorr, dem Privatdozent für Chemie an der Universität Berlin Professor Dr. Paul Jacobson der Titel Geh. Regierungsrat, dem a. o. Professor der Chemie an der Universität Würzburg (mit der Vertretung des verstorbenen Geheimrat Buchner beauftragt gewesen) Dr. Fritz Reitzenstein der Titel Hofrat, dem Professor der Physik an der Universität Berlin Dr. Albert Einstein von der Philosophischen Fakultät der Universität Göttingen der Otto Vahlbruch-Preis für seine Arbeiten über die Theorien der Gravitation, dem wissenschaftlichen Hilfsarbeiter am Astrophysikalischen Observatorium Potsdam Dr. Otto Birck sowie den wissenschaftlichen Mitarbeitern der Deutschen Chemischen Gesellschaft Dr. Robert Stelzner und Dr. Prager der Titel Professor.

Ehrungen: Zu auswärtigen Mitgliedern in der mathematisch-physikalischen Klasse der Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen der ord. Professor für angewandte Thermodynamik an der Technischen Hochschule München Geheimrat Dr. Karl von Linde und der ord. Professor der theoretischen Physik an der Universität Berlin Geh. Regierungsrat Dr. Max Planck.

Gestorben: Der Privatdozent für Physik, Philosophie und Geophysik an der Universität Berlin Geh. Regierungsrat Professor Dr. Max Bernhard Weinstein, der Privatdozent für Mathematik an der Universität Berlin Dr. Robert Jentzsch, der ord. Professor der Chemie an der Faculté de Bordeaux Dr. Charles Blarez.

Für die Schriftleitung verantwortlich Geh. Regierungsrat Prof. Dr. H. Th. Simon in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.

◆ ◆ **Verlag von S. HIRZEL in Leipzig.** ◆ ◆

Das Erdöl,

seine Physik, Chemie, Geologie, Technologie und sein Wirtschaftsbetrieb

In fünf Bänden

mit anderen herausgegeben von

C. Engler und **H. v. Höfer**

o. ö. Prof. an der Techn. Hochschule zu Karlsruhe — o. ö. Prof. i. R. der Montanistischen Hochschule zu Leoben

Bisher erschienen:

Band I.

Die Chemie und Physik des Erdöls

Unter Mitwirkung von Dr. J. Berlinerblau, Prof. Dr. W. Ebstein, Dipl.-Ing. Dr. N. Hviid, Dr. H. Köhler u. Prof. Dr. L. Ubbelohde

bearbeitet von

Carl Engler

Wirkl. Geh. Rat und Professor der Chemie an der Technischen Hochschule Karlsruhe

XX u. 856 Seit. m. 45 Abbild. u. einem Tabellenanhang in Sonderband.

Preis geheftet M. 50.—, gebunden in Halbfranz M. 62.—

Band II.

Die Geologie, Gewinnung und der Transport des Erdöls

In Gemeinschaft mit anderen

bearbeitet von

K. K. Hofrat **Hans v. Höfer**

XX u. 967 Seiten. Mit 307 Abbildungen und 26 Tafeln.

Preis geheftet M. 46.—, gebunden in Halbfranz M. 52.—

Band III.

Die Technologie des Erdöls und seiner Produkte

Unter Mitwirkung von Prof. Dr. H. Kast, Dr. C. F. Lossen und Fabrikdirektor R. A. Wischin

bearbeitet von

Dr. Leopold Singer

Direktor der Mineralölraffinerie Pardubitz

XVI u. 1244 Seiten. Mit 1039 Abbildgn. im Text und auf 20 Tafeln

Preis geheftet M. 56.—, gebunden in Halbfranz M. 62.—

Band IV.

Die Prüfung und Verwendung des Erdöls und seiner Produkte

von

Professor Dr. **C. Engler**, Professor Dr. **D. Holde**, Dr. **Leopold Singer**, Wirkl. Staatsrat **St. Goulischambaroff**, Dr. **S. Aisinman.**

XVI u. 778 Seiten mit 368 Abbildungen.

Preis geheftet M. 36.—, gebunden in Halbfranz M. 40.—

In Vorbereitung für Frühjahr 1918:

Band V. **Die Petroleumwirtschaft von H. Wolff.** Geschichte der Massenerschließung. Rechtliche Grundlagen des Erdölbergbaues (Berggesetzgebung). Wirtschaftliche Grundlagen (Kapital, Arbeit, Löhne), Erzeugungsstatistik, Handelsstatistik etc. etc.

Tabellen zum Englerschen Viskosimeter

von Dr. **Leo Ubbelohde** a. o. Professor für chemische Technologie und Abteilungsvorsteher am chemisch-technischen Institut der Technischen Hochschule in Karlsruhe.

Preis gebunden 3 Mark.

Alle Preise exkl. 30% Teuerungszuschlag.

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
Benedict, E. u. H. Senftleben, Eine Methode zur Temperaturbestimmung leuchtender Flammen . .	180
Elemente: Periodische Systeme der —, v. St. Meyer	178
Fixsternsystem: Über die Anwendbarkeit der kinetischen Gastheorie auf das —, v. J. Lense	182
Flammen: Eine Methode zur Temperaturbestimmung leuchtender —, v. H. Senftleben u. E. Benedict	180
Galvanischer Unterbrecher, v. W. Kasperowicz . .	187
Gase: Aus der Ionenlehre der —, v. H. Greinacher	188
Gastheorie: Über die Anwendbarkeit der kinetischen — auf das Fixsternsystem, v. J. Lense	182
Greinacher, H., Aus der Ionenlehre der Gase . . .	188
Ionenlehre: Aus der — der Gase, v. H. Greinacher	188
Kasperowicz, W., Galvanischer Unterbrecher . . .	187
Kinetische Gastheorie: Über die Anwendbarkeit der — auf das Fixsternsystem, v. J. Lense	182
Lense, J., Über die Anwendbarkeit der kinetischen Gastheorie auf das Fixsternsystem	182
Leuchtende Flammen: Eine Methode zur Temperaturbestimmung —, v. H. Senftleben u. E. Benedict	180
Magnetische Mittelwerte des Jahres 1917, v. A. Schmidt	195
Meyer, St., Periodische Systeme der Elemente . . .	178
Periodische Systeme der Elemente, v. St. Meyer . .	178
Schmidt, A., Magnetische Mittelwerte des Jahres 1917	195
Schwebungen: Über —, v. E. Waetzmann	177
Senftleben, H. u. E. Benedict, Eine Methode zur Temperaturbestimmung leuchtender Flammen . .	180
Temperaturbestimmung: Eine Methode zur — leuchtender Flammen, v. H. Senftleben u. E. Benedict	180
Unterbrecher: Galvanischer —, v. W. Kasperowicz	187
Vorlesungsverzeichnis für das Sommersemester 1918 .	196
Waetzmann, E., Über Schwebungen	177

Verlag von S. HIRZEL in Leipzig.

Allgemeine Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaft. Eine Einführung in die moderne Naturphilosophie von **Dr. Bernhard Bavink.** Mit 19 Figuren und 2 Tafeln. **Preis geh. 6 M., geb. M. 9.—** exkl. Teuerungszuschlag.

Siemens & Halske A.-G.

Wernerwerk — Siemensstadt bei Berlin

Siemens-Glühkathodenröhren

mit massiver Wolfram-Antikathode können **stundenlang** mit einer **Betriebsspannung** von **180 Kilo-Volt,** effektiv gemessen bei **4 Milliampere Belastung,** betrieben werden.
Die Röhren sind für physikalische Untersuchungen und Demonstrationen wegen ihrer **Konstanz** gut geeignet. Die Kühlung der Antikathode erfolgt nur durch Wärmestrahlung.

Siemens-Spezial-Röntgenapparate zum Betriebe der Siemens-Glühkathodenröhren mit **Hochspannungstransformatoren** und **leistungsfähigen Induktoren für Dauerbetrieb.** Bei Transformatorenbetrieb ist die Regulierung von **Strahlenhärte** und **Röhrenstrom unabhängig.**

Literatur: Berliner klinische Wochenschrift 1916, Nr. 12 u. 13.

Vorführungen in unserem Ausstellungsraum:
Berlin NW. 6, Luisenstraße 58—59, Langenbeck-Virchow-Haus.